

· 临床研究 ·

机器人与透视下辅助经椎间孔椎体间融合术治疗
腰椎间盘突出症的病例对照研究陈豪杰^{1,2}, 黄小强^{1,3}, 高林¹, 张嘉男¹, 刘世长¹, 陈林娜², 郝定均¹, 张子龙², 乔瑞², 杨佳瑞²

(1. 西安交通大学附属红会医院骨科, 陕西 西安 710054; 2. 西安医学院, 陕西 西安 710068; 3. 西安市第五人民医院, 陕西 西安 710082)

【摘要】 目的: 比较透视与机器人辅助下微创经椎间孔椎体间融合术(minimal invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF) 治疗单间隙腰椎间盘突出症的安全性及置钉准确性。方法: 回顾性分析 2019 年 3 月至 2020 年 2 月采用 MIS-TLIF 手术方式治疗的 52 例单间隙腰椎间盘突出症临床资料。其中 24 例患者采用脊柱机器人辅助 MIS-TLIF 治疗(A 组); 28 例患者采用透视下辅助 MIS-TLIF 治疗(B 组)。记录两组患者术中出血量, 手术时间, 术中透视次数, 手术前后视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和日本骨科协会(Japanese Orthopaedic Association, JOA)评分以及手术相关并发症。术后通过 CT 平扫采用 Gertzbein-Robbins 对螺钉精准度进行评级。其中 A 级和 B 级被评估为满意置钉, C、D、E 级被评估为置钉错误, 采用 Babu 等方法评估螺钉对上关节突的侵犯情况。结果: A 组手术时间、术中出血量及术中透视次数均少于 B 组($P < 0.05$)。末次随访所有患者 VAS 及 JOA 评分较术前明显改善($P < 0.05$), 但组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。A、B 组置入螺钉分别为 96 枚和 112 枚。术后 3 d 根据 Gertzbein-Robbins 分类法评估两组置钉精准度, A 组中 A 级 90 枚, B 级 5 枚, C 级 1 枚, 无 D、E 级置钉; B 组中 A 级 84 枚, B 级 16 枚, C 级 8 枚, D 级 4 枚, 无 E 级置钉; 两组比较差异有统计学意义($Z = -3.709, P = 0.000$)。A 组满意置钉率为 98.96% (95/96); B 组满意置钉率为 89.29% (100/112), 两组比较差异有统计学意义($\chi^2 = 8.254, P = 0.004$)。术后 3 d 根据 Babu 等方法评估椎弓根螺钉对上关节突关节侵犯情况, 其中 A 组 0 级 90 枚, 1 级 4 枚, 2 级 2 枚, 3 级 0 枚; B 组 0 级 86 枚, 1 级 12 枚, 2 级 10 枚, 3 级 4 枚, 两组比较差异有统计学意义($Z = -3.433, P = 0.001$)。两组患者均未出现因置钉失误造成的严重脊髓、神经及血管损伤及其他手术相关并发症。两组患者均获随访, 时间 6~12 (9.06±1.60) 个月。术后神经症状均改善良好, 随访期间未见症状复发及内固定松动、断裂的情况。结论: 与透视下辅助 MIS-TLIF 相比, 脊柱机器人辅助 MIS-TLIF 术式不仅更具有微创性与安全性, 而且置钉精准更高, 侵犯上关节突的发生率更低, 明确减压靶点更精准, 可用于单间隙腰椎间盘突出症的微创治疗。

【关键词】 机器人; 脊柱融合术; 椎间盘移位; 病例对照研究

中图分类号: R681.5

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.02.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A case-control study of minimally invasive transforaminal interbody fusion with the assistance of robot and traditional fluoroscopy in the treatment of single-space lumbar disc herniation CHEN Hao-jie, HUANG Xiao-qiang*, GAO Lin, ZHANG Jia-nan, LIU Shi-chang, CHEN Lin-na, HAO Ding-jun, ZHANG Zi-long, QIAO Rui, and YANG Jia-rui. *Department of Orthopaedics, Red Cross Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, Shaanxi, China

ABSTRACT Objective: To compare the safety and nail placement accuracy of fluoroscopy-assisted and robot-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF) in the treatment of single-space lumbar disc herniation. **Methods:** The clinical data of 52 patients with single-space lumbar disc herniation treated by MIS-TLIF from March 2019 to February 2020 were retrospectively analyzed. Among them, 24 patients were treated by robot-assisted MIS-TLIF (group A) and 28 patients were treated by fluoroscopy-assisted MIS-TLIF (group B). The intraoperative blood loss, operation time, intraoperative fluoroscopy times, preoperative and postoperative visual analogue scale (VAS), Japanese Orthopaedic Association (JOA) scores and operation-related complications were recorded in two groups. Gertzbein-Robbins grade according to CT scan was used to evaluate the nail placement after operation. Grade A and B were evaluated as satisfactory nail placement, and grade C, D, and E were evaluated as error placement. Babu's method was used to evaluate the screw's invasion to the superior articular

基金项目: 陕西省重点研发计划资助项目(编号: 2019SF-192)

Fund program: Key Research & Development Projects of Shaanxi Province (No. 2019SF-192)

通讯作者: 黄小强 E-mail: 18700828311@163.com

Corresponding author: HUANG Xiao-qiang E-mail: 18700828311@163.com

process. **Results:** The operation time, intraoperative blood loss and intraoperative fluoroscopy times in group A were less than those in group B ($P < 0.05$). VAS and JOA scores of all patients at the final follow-up were significantly improved compared with those before operation ($P < 0.05$), but there was no statistically significant difference between the groups ($P > 0.05$). There were 96 and 112 screws in group A and group B, respectively. Three days after operation, according to the Gertzbein-Robbins grade to evaluate the nail placement accuracy, there were 90 screws of grade A, 5 of grade B, 1 of grade C, no grade D and E in group A; there were 84 screws of grade A, 16 of grade B, 8 of grade C, 4 of grade D, no grade E in group B; the difference between two groups was statistically significant ($Z = -3.709, P = 0.000$). The satisfactory rate of screw placement in group A was 98.96% (95/96), and that of group B was 89.29% (100/112), the difference between two groups was statistically significant ($\chi^2 = 8.254, P = 0.004$). Three days after operation, the invasion of superior facet joints by pedicle screws was evaluated according to Babu's method, including 90 screws in grade 0, 4 in grade 1, 2 in grade 2, and 0 in grade 3 in group A; 86 in grade 0, 12 in grade 1, 10 in grade 2 and 4 in grade 3 in group B, and the difference was statistically significant ($Z = -3.433, P = 0.001$). There were no serious spinal cord, nerve and vascular injuries and other operation-related complications caused by screw implantation failure in both groups. All patients were followed up from 6 to 12 (9.06 ± 1.60) months. The neurological symptoms improved well after operation. During the follow-up period, there was no recurrence of symptoms, loosening or breakage of the internal fixation. **Conclusion:** Compared with the traditional fluoroscopy-assisted MIS-TLIF, the spinal robot-assisted MIS-TLIF not only has more minimally invasive and safer, but also has higher accuracy in nail placement, lower incidence of upper articular process invasion, and more accurate decompression targets, which can be used for minimally invasive treatment of single-space lumbar disc herniation.

KEYWORDS Robotics; Spinal fusion; Intervertebral disk displacement; Case-control studies

腰椎间盘突出症是以突出的椎间盘组织刺激和(或)压迫神经根以及马尾神经为病理基础,以腰痛、下肢放射痛、麻木、无力、大小便功能障碍等临床表现为主要症候群的常见疾病,临床上大多保守治疗 6~12 周无效后,症状进行性加重,并且严重影响生活与工作,可采取手术治疗^[1]。随着脊柱外科微创技术的发展与进步,微创经椎间孔椎体间融合术(minimally invasive transforaminal interbody fusion, MIS-TLIF)在治疗腰椎间盘突出症上应用越来越广泛,且临床疗效显著,传统方式上借助术中透视经皮置入螺钉,其置钉技术难度大、置钉风险高。而随着机器人、计算机导航技术及相关配套设备的进步,不同辅助置钉方式在临床上的应用越来越多。有关学者通过透视与机器人辅助下经皮置入椎弓根螺钉精准度对比研究中认为机器人辅助置钉精度更高^[2-4]。但是机器人置钉的准确性仍然具有一定争议^[5]。一项前瞻随机研究结果显示机器人辅助椎弓根螺钉置入对比徒手置钉在准确性上并无优势^[6]。Marcus 等^[6]分析结果显示,对比徒手置钉,机器人辅助置钉并没有显现出更高的准确率。Staatjes 等^[7]分析也表明机器人辅助置钉与徒手置钉的螺钉翻修率差异无统计学意义。以上研究均是 Renaissance 机器人(Renaissance, 西塞尔机器人,凯撒利亚,以色列)辅助脊柱外科手术中的临床应用。其置钉精度容易受患者体位微动、肥胖、骨质疏松等影响^[8]。而近年来国产骨科机器人(天玑,天智航,中国)在创伤骨科、脊柱外科中开展多例手术,其安全性与准确性得到业界一致认可。2019 年 3 月,西安市红会医院引进并开始启用完全

国产化的天玑第 3 代骨科机器人辅助各种脊柱、骨盆等骨科手术,该机器人系统由机械臂系统、光学跟踪系统、手术规划系统及导航系统等构成。本文是对 2019 年 3 月至 2020 年 2 月采用 MIS-TLIF 手术治疗并经国产天玑骨科机器人或传统透视辅助置钉的 52 例单间隙腰椎间盘突出症临床资料进行回顾性分析,比较两种辅助置钉术式对患者术中出血量、手术时间、手术前后功能评分、置钉精准度、上关节突关节侵犯率以及手术相关并发症的影响,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

1.1.1 纳入标准 单间隙腰椎间盘突出症,动力位 X 线片显示腰椎失稳;骨密度 T 值 $-1.0 \sim -2.5 \text{ g/cm}^3$; 均行经椎间孔入路腰椎椎间融合术;临床及影像学表现具备手术指征,并进行规范化保守治疗 3 个月以上无效,且强烈要求手术者;影像学及随访资料完整;徒手或骨科机器人(天玑,天智航,中国)辅助置入椎弓根螺钉。

1.1.2 排除标准 腰椎结核、感染、肿瘤,严重脊柱侧弯;合并严重内科疾病,不能耐受手术;腰椎邻近节段退变性疾病;为降低学习曲线对机器人置钉准确性的影响,机器人使用组前 10 例患者被排除。

1.2 一般资料

2019 年 3 月至 2020 年 2 月共 52 例患者符合病例选择标准纳入研究,其中 24 例采用国产骨科机器人辅助 MIS-TLIF 治疗(A 组),28 例采用透视辅助 MIS-TLIF(B 组)治疗。该研究通过西安交通大学

附属红会医院医学伦理委员会审核 (批准文号: 202007004), 符合伦理原则。

A 组男 11 例, 女 13 例; 年龄 35~63 (50.04±8.07) 岁; 体质量指数 (24.73±1.84) kg/m²; 病程 6~12 (8.71±2.21) 个月; 骨密度 T 值=(-1.50±0.36) g/cm³; L_{4,5} 10 例, L₅S₁ 14 例。B 组男 13 例, 女 15 例; 年龄 32~60 (49.96±7.32) 岁; 体质量指数 (25.02±1.77) kg/m²; 病程 6~12 (8.32±1.32) 个月; 骨密度 T 值=(-1.51±0.36) g/cm³; L_{4,5} 14 例, L₅S₁ 14 例。两组患者性别、年龄、体质量指数、骨密度 T 值、手术节段、术前腰痛 VAS、JOA 评分等一般资料比较差异均无统计学意义 (P>0.05)。见表 1。

1.3 治疗方法

1.3.1 手术方法 (1)A 组。机器人使用大致流程:

①图像配准。首先将术前使用 CT 机完整扫描责任节段椎体的数据输入机器人系统, 之后将参考架安放在距离上位责任椎体 2~3 椎体的棘突上。②术中规划。③规划螺钉。规划并确定每个责任椎体螺钉的进针点、进针方向, 选定合适的螺钉长度、直径后点击“添加规划”。④完成规划。完成所有螺钉规划后点击“下一步”, 此时可将机器臂末端的标定尺替换成导向器。⑤机械臂运动。点击执行螺钉后点击“模拟”, 显示模拟界面点击“模拟”, 会显示机器臂运动路径, 确认安全后点击“确定”。⑥导针置入。执行完所有螺钉运动并置入导针后点击“下一步”。⑦正侧位透视复查椎弓根导针置入位置。之后根据骨科机器人收集的患者三维影像数据, 实时精准地确定症状侧目标靶点后由机器人机械臂辅助下插入导丝, 在减压目标靶点正上方取合适大小的切口后逐级插入扩张套管、撑开器至椎板外缘和关节突关节。具体见图 1。图 1a 机器人术中大致示意图参考文献[9]。

(2)B 组。在 C 形臂 X 线机透视下通过金属标准方格网定位并标记责任节段椎弓根, 分别在 4 个标记点用尖刀行 1 cm 直切口, 分别用穿刺针置入, 反

复经 C 形臂 X 线正侧位透视调整穿刺针位置, 确定无误后换导针, 扩髓。后取责任节段棘突症状侧旁开 1 cm 左右做直切口, 长 3~4 cm, 依层切开皮肤、皮下组织、腰背筋膜, 使用套筒逐一扩张多裂肌间隙, 置放工作套管。

(3)手术操作步骤。A 组与 B 组一致: 安装光纤镜头, 双极电凝止血, 去除责任节段上椎体症状侧椎板下半及下关节突, 去除黄韧带, 显露责任间隙及受压神经根。神经拉钩牵拉受压神经根至内侧, 显露责任间隙突出的椎间盘。尖刀切开纤维环, 髓核钳钳取髓核组织若干, 神经钩探查神经根张力明显降低, 神经根移动度正常。症状侧置入椎弓根螺钉。冲洗手术区域, 再次止血, 清点手术器械及纱布块数目正确后, 冲洗缝合伤口。

1.3.2 术后处理 两组患者术后均给予抗生素预防感染 (不超过 48 h), 抑酸、消肿、营养神经等治疗。术后第 1 天行血常规、C-反应蛋白、红细胞沉降率等检查, 3 d 后患者佩戴腰背支具下地活动, 出院前行正侧位 X 线及 CT 复查。术后 2 周拆线, 3 周行腰背肌锻炼, 1、3、6、9、12 个月定期门诊复查。

1.4 观察项目与方法

术后 3 d 分别对腰椎固定节段螺钉行 CT 扫描: 层厚 1.25 mm。在影像归档和通信系统 (picture archiving and communication systems, PACS) 上通过 PacsClient 软件的 CT 图层进行测量和分析, 根据 Gertzbein-Robbins^[10]分类法评估每枚螺钉的位置。等级如下: A 级, 椎弓根骨皮质完整; B、C、D 级, 螺钉均穿透椎弓根骨皮质, 但穿破骨皮质分别 <2、4、6 mm; E 级则为螺钉穿出骨皮质 >6 mm。

采用 Babu 等^[11]方法评估螺钉对上关节突关节的侵犯情况: 0 级, 未侵犯上关节突关节; 1 级, 螺钉侵犯至上关节突关节面内不超过 1 mm, 或者疑似侵犯; 2 级, 螺钉已经侵犯到上关节突关节内; 3 级, 螺钉完全侵犯在上关节突关节面内。

表 1 两组腰椎间盘突出症患者一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data of patients with lumbar disc herniation between two groups

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	体质量指数 ($\bar{x}\pm s$, g/cm ²)	骨密度 ($\bar{x}\pm s$, g/cm ³)	手术节段(例)		术前 VAS ($\bar{x}\pm s$, 分)	术前 JOA 评分 ($\bar{x}\pm s$, 分)
		男	女				L _{4,5}	L ₅ S ₁		
A 组	24	11	13	50.04±8.07	24.73±1.84	-1.50±0.36	10	14	7.08±0.78	14.46±1.91
B 组	28	13	15	49.96±7.32	25.02±1.77	-1.51±0.36	14	14	7.11±1.23	14.79±2.70
检验值		$\chi^2=0.002$		$t=0.036$	$t=0.036$	$t=0.184$	$\chi^2=0.548$		$t=-0.082$	$t=-0.497$
P 值		0.966		0.971	0.971	0.855	0.588		0.935	0.622

注: A 组采用脊柱机器人辅助 MIS-TLIF 治疗, B 组采用透视下辅助 MIS-TLIF 治疗。下同

Note: The patients in the group A were treated by robot-assisted MIS-TLIF; and in the group B were treated by fluoroscopy-assisted MIS-TLIF. The same below

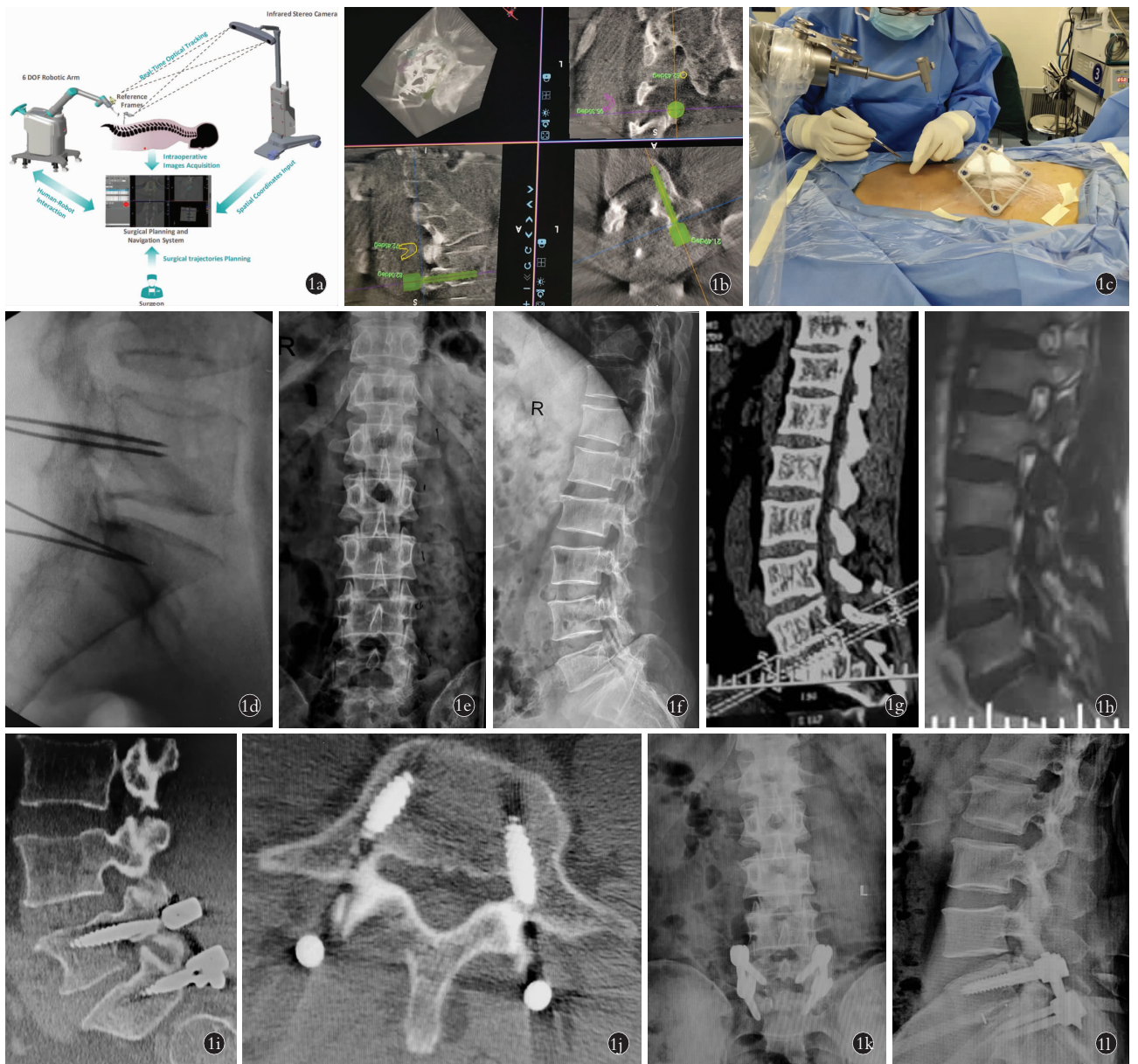


图 1 男性患者,49岁,L₅S₁椎间盘突出 **1a.** 机器人术中大致示意图 **1b.** 计算机操控平台提前规划螺钉位置 **1c.** 机械臂执行系统命令移动到靶点上方,由术者在置钉目标位置取大小合适的切口 **1d.** 机器人辅助导针置入位置良好 **1e,1f.** 术前腰椎正侧位 X 线片 **1g,1h.** 术前腰椎 CT、MRI **1i,1j.** 术后 3 天腰椎 CT 横断位示左侧螺钉疑似穿破皮质,评估为 B 级螺钉;右侧螺钉位置良好,评估为 A 级螺钉 **1k,1l.** 术后 3 个月复查腰椎正侧位 X 线片示内固定位置良好

Fig.1 A 49-year-old male patient with lumbar intervertebral disc herniation **1a.** General schematic diagram of robot operation **1b.** The computer control platform planned the screw position in advance **1c.** The manipulator executes the system command to move above the target, and the operator took an appropriate incision at the target position **1d.** The placement position of the robot-assisted guide needle was good **1e,1f.** The anterior and lateral X-ray films of lumbar vertebrae were taken before operation **1g,1h.** CT and MRI of lumbar vertebrae were performed before operation **1i,1j.** Three days after operation, the transverse position of lumbar CT showed that the left screw was suspected of penetrating the cortex, which was evaluated as a grade B screw, and the right screw was in good position, and it was evaluated as grade A screw **1k,1l.** Three months after operation, the anterior and lateral X-ray films of lumbar vertebrae showed that the position of internal fixation was good

1.5 统计学处理

采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析。年龄、质量指数、骨密度等定量资料以均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用成组设计定量资料 *t* 检验;两组患者性别、手术节段、置钉精准度等定性资料比较采用

卡方检验;等级资料组间比较采用秩和检验;检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

两组患者均获随访,时间 6~12 (9.06±1.60) 个月。术后神经症状均改善良好,随访期间未见症状复

发及内固定松动、断裂的情况。A 组 1 例患者术中因减压过程发生硬脊膜撕裂，术中对撕裂的硬脊膜进行缝合并覆盖 1 层人工硬脊膜(北京天新富)，术后未发生脑脊液漏；B 组 2 例患者因切口处脂肪液化造成伤口愈合不良，对其清创缝合及定期清洁换药后伤口愈合良好。两组患者均未出现严重脊髓、神经、血管损伤及其他手术相关并发症。

A 组手术时间、术中出血量、术中透视次数均少于 B 组(表 2)。两组患者术前及末次随访腰痛 VAS、JOA 评分比较差异无统计学意义($P>0.05$)；两组患者末次随访 VAS、JOA 评分均较术前均明显改善($P<0.05$)；组间比较差异无统计学意义(表 3)。

表 2 两组腰椎间盘突出症患者手术时间、术中出血量、术中透视次数比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of operation time, intraoperative blood loss and intraoperative fluoroscopy of patients with lumbar disc herniation between two groups($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	手术时间 (min)	术中出血量 (ml)	术中透视次数 (次)
A 组	24	192.70±14.81	178.75±23.09	9.91±2.39
B 组	28	210.71±26.86	201.96±28.16	16.85±3.74
<i>t</i> 值		-3.047	-3.215	32.323
<i>P</i> 值		0.004	0.002	0.000

表 3 两组腰椎间盘突出症患者手术前后 VAS 及 JOA 评分比较($\bar{x}\pm s$, 分)

Tab.3 Comparison of pre-and post-operative VAS and JOA scores of patients with lumbar disc herniation between two groups($\bar{x}\pm s$, score)

组别	例数	VAS		JOA 评分	
		术前	末次随访	术前	末次随访
A 组	24	7.08±0.78	2.17±0.64	14.46±1.91	21.04±1.99
B 组	28	7.11±1.23	2.11±1.07	14.79±2.70	20.43±1.32
<i>t</i> 值		-0.082	0.239	-0.497	1.328
<i>P</i> 值		0.935	0.812	0.622	0.190

A、B 组分别置入螺钉 96 枚和 112 枚。术后 3 d 根据 Gertzbein-Robbins 分类法^[10]评估两组置钉精度，A 组中 A 级 90 枚，B 级 5 枚，C 级 1 枚，无 D、E 级置钉；B 组中 A 级 84 枚，B 级 16 枚，C 级 8 枚，D 级 4 枚，无 E 级置钉；两组比较差异有统计学意义($Z=-3.709, P=0.000$)。A 组满意置钉率为 98.96% (95/96)；B 组满意置钉率为 89.29% (100/112)，两组比较差异有统计学意义($\chi^2=8.254, P=0.004$)。见表 4。术后 3 d 根据 Babu 等^[11]方法评估椎弓根螺钉

对上关节突侵犯情况，其中 A 组：0 级 90 枚，1 级 4 枚，2 级 2 枚，3 级 0 枚；B 组：0 级 86 枚，1 级 12 枚，2 级 10 枚，3 级 4 枚，两组比较差异有统计学意义($Z=-3.433, P=0.001$)。见表 5。

表 4 两组腰椎间盘突出症患者置钉精准度比较

Tab.4 Comparison of nail placement accuracy of patients with lumbar disc herniation between two groups

组别	例数	置钉分级(枚)					置钉满意率 (%)
		A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	
A 组	24	90	5	1	0	0	98.96
B 组	28	84	16	8	4	0	89.29
检验值				$Z=-3.709$			$\chi^2=8.254$
<i>P</i> 值				0.000			0.004

表 5 两组腰椎间盘突出症患者螺钉对上关节突关节侵犯情况比较

Tab.5 Comparison of screw invasion of superior facet joint between two groups of patients with lumbar disc herniation

组别	例数	对上关节突侵犯情况进行置钉分级(枚)			
		0 级	1 级	2 级	3 级
A 组	24	90	4	2	0
B 组	28	86	12	10	4
检验值			$Z=-3.433$		
<i>P</i> 值			0.001		

3 讨论

3.1 MIS-TLIF 在腰椎间盘突出症中临床应用及存在的问题

经椎间孔椎体间融合术(transforaminal interbody fusion, TLIF) 是治疗各种脊柱退行性病变的常规选择^[12]。然而 TLIF 术中肌肉剥离范围大、中线切口长、软组织损伤大，容易造成患者术后残留腰背部酸困、疼痛等症状，影响患者对手术满意度。随着微创技术及相关设备的进步，MIS-TLIF 术式在临床上已得到广泛应用，包括对腰椎间盘突出症、腰椎滑脱症、腰椎管狭窄症以及老年脊柱化脓性骨髓炎等脊柱疾病治疗效果显著^[13-15]；在治疗单间隙腰椎间盘突出症可取得与 TLIF 手术相同的疗效，且创伤更小，术中出血量更少，手术相关并发症更少，疼痛缓解更快，但其手术难度更大、技术要求更高^[16-17]。且 MIS-TLIF 术式有限的可视化操作可能会增加各种手术相关并发症^[18]，其中传统透视辅助下经皮置钉过程中螺钉位置不佳可能会造成血管、神经、脊髓、上关节突关节的损伤^[2,10-11,16-18]。尤其经皮置钉的螺钉精度易受脊柱深度和肥胖的影响，而肥胖是经皮置钉易侵

犯上关节突关节的危险因素^[19]。然而螺钉侵犯到上关节突关节可能增加邻近节段退变性疾病发生的风险,因此避免螺钉侵犯上关节突关节是至关重要的。经皮置钉螺钉置入过程中穿刺针容易受腰椎肌肉牵拉移位,造成导针置入偏差,导致螺钉置入错误。另外腰段脊柱为生理性前凸,腰背肌肉、脂肪组织肥厚,软组织离进针点骨面距离远,尤其在肥胖患者,若采用经皮置钉对于切口设计的精准性要求尤其高,否则不易给出理想的螺钉内倾角度及螺钉位置^[2]。在以往研究中,多采用 Renaissance 脊柱机器人辅助下经皮置钉,相对于透视下辅助,置钉精度更高,具有安全性。但 Renaissance 脊柱机器人通过克氏针将“桥”固定在患者身上,置钉精度易受患者体位改变及软组织牵拉的影响。有关研究通过多因素分析认为 Renaissance 脊柱机器人置钉精度受肥胖、骨质疏松、椎体重度旋转和脊柱侧凸影响^[9]。由操作平台系统、光学跟踪系统、机械手臂组成的国产天玑骨科机器人的出现,在股骨颈骨折、骨盆、脊柱辅助置钉中表现出良好的临床疗效与安全性。

3.2 机器人导航系统在脊柱外科中的应用

林林志等^[20]报道的机器人与透视辅助下经皮椎体后凸成形术中,天玑骨科机器人经皮穿刺精度更高且辐射剂量更低,而且突破皮质的发生率更低,骨水泥渗漏的发生率更低。周晓等^[21]报道的徒手与天玑骨科机器人辅助置钉治疗胸腰椎骨折研究中,在获得同等临床效果前提下,机器人辅助置钉准确率更高、术中出血量更少、辐射更小、更微创。姜树东等^[22]认为机器人辅助下 MIS-TLIF 治疗单节段退行性腰椎疾病可取得与传统 MIS-TLIF 相同的临床疗效,其中 VAS、ODI 评分、功能改善率差异均无统计学意义;天玑骨科机器人辅助置钉精度为 97.92%,显著高于透视辅助下的 85.00%;而手术时间、术中出血量、术中透视次数、切口长度均低于传统组。吕振东等^[23]通过骨科机器人辅助与传统徒手颈椎后路椎弓根螺钉置入手术治疗颈椎病临床对比研究中得出:骨科机器人辅助颈椎后路椎弓根螺钉置入的精确度更高,术中透视次数、时间、辐射剂量、手术时间更少,而手术效果与徒手组无明显差异。张在田等^[24]认为机器人辅助椎间孔镜下腰椎间盘髓核摘除术,确定减压靶点的精度更高,且术中出血量、术中透视次数更少,手术效果满意。本研究 A 组手术时间、术中出血量及术中透视次数均少于 B 组($P<0.05$)。两组患者术前术后腰腿痛 VAS、JOA 评分比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。A、B 组分别置入螺钉 96 枚和 112 枚。术后 3 d 根据 Gertzbein-Robbins^[10]分类法评估两组置钉精度,两组比较差

异有统计学意义($P<0.05$)。A 组满意置钉率为 98.96%;B 组满意置钉率为 89.29%,两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。术后 3 d 根据 Babu 等^[11]方法评估椎弓根螺钉对上关节突侵犯情况,两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。研究中各观察指标结果与以上研究一致。虽然 A 组 1 例患者术中因减压过程发生硬脊膜撕裂,但术中对撕裂的硬脊膜进行缝合并覆盖 1 层人工硬脊膜后未发生脑脊液漏。笔者认为造成硬脊膜撕裂与手术操作范围狭小及视野有限有关,解决“小通道”术区视野不佳问题可以借助 3D 显微镜。B 组 2 例因切口处脂肪液化造成伤口愈合不良,可能与患者肥胖、术中多次透视辅助穿刺针置入时对切口干扰过度有关,对其清创缝合及定期清洁换药后伤口愈合良好。两组患者均未出现严重脊髓、神经及血管损伤及其他手术相关并发症。

3.3 天玑骨科机器人在脊柱外科的优势

通过临床使用天玑骨科机器人后笔者认为其有以下优势:(1)灵活稳定的 6 关节自由机械臂辅助置钉,精度不受患者体位改变及术者手指轻微抖动的影响。(2)实时提供术中高清三维影像,方便术者判断上位椎体的下关节突与下位椎体上关节突位置,明确工作套管的放置位置,确定减压靶点,此外通过机器人辅助还可在下位椎体的上关节突顶点置入导针,以此明确工作套管放置位置。(3)学习曲线短,初学者在经过简单培训并参与几例机器人手术后即可熟练掌握。(4)通过机器人光学跟踪系统监控空间位置,反馈实时精准信息,方便术者根据反馈信息及时调整精度。

综上所述,与传统透视辅助 MIS-TLIF 相比,机器人辅助 MIS-TLIF 置钉精度更高,而且确定减压目标靶点的准确性更高,可显著降低手术难度,减少侵犯上关节突关节的发生率,同时减少手术创伤及术中透视次数。但本研究为回顾性研究,选择偏倚可能会影响研究结果;其次,本研究病例较少,对结果会产生一定干扰;最后,本研究随访时间较短,未对远期恢复情况及远期相关并发症进行研究。本研究结果需要大样本前瞻性随机试验进一步验证。

参考文献

- [1] 中华医学会骨科分会脊柱外科学组,中华医学会骨科学会康复学组. 腰椎间盘突出症诊疗指南[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(8): 477-487.
Chinese Orthopaedic Association of Spinal Surgery Group, Chinese Orthopaedic Association of Orthopaedic Rehabilitation Group. Guidelines for diagnosis and treatment of lumbar disc herniation [J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2020, 40(8): 477-487. Chinese.
- [2] 杨俊松,郝定均,刘团江,等. 脊柱机器人与透视辅助下经皮置钉治疗腰椎滑脱症中置钉精度的对比研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2018, 32(11): 1371-1376.

- YANG JS,HAO DJ,LIU TJ,et al. Comparative study on the accuracy of spinal robot and fluoroscopy-assisted percutaneous nail placement in the treatment of lumbar spondylolisthesis[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi,2018,32(11):1371-1376. Chinese.
- [3] Gao S,Lv Z,Fang H. Robot-assisted and conventional freehand pedicle screw placement:a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Eur Spine J,2017,27(6):1-10.
- [4] 翟功伟,高延征,高坤,等. 脊柱机器人辅助与传统后路椎弓根螺钉内固定矫形术治疗脊柱侧凸的效果比较[J]. 中华实用诊断与治疗杂志,2019,33(7):636-640.
- ZAI GW,GAO YZ,GAO K,et al. Comparison of the effects of spine robot-assisted and traditional posterior pedicle screw fixation and orthopedics in the treatment of scoliosis[J]. Zhonghua Shi Yong Zhen Duan Yu Zhi Liao Za Zhi,2019,33(7):636-640. Chinese.
- [5] Chen FA, Gregory K, Galen WJ, et al. Robotic technology in orthopaedic surgery[J]. J Bone Joint Surg Am, 2018, 100(22):1984-1992.
- [6] Marcus HJ, Cundy TP, Nandi D, et al. Robot-assisted and fluoroscopy-guided pedicle screw placement:a systematic review[J]. Eur Spine J, 2014, 23(2):291-297.
- [7] Staartjes VE, Klukowska AM, Schröder ML. Pedicle screw revision in robot-guided, navigated, and freehand thoracolumbar instrumentation:a systematic review and Meta-analysis[J]. World Neurosurg, 2018, 116:433-443.
- [8] Zhang JN, Fan Y, Ding JH. Risk factors for robot-assisted spinal pedicle screw malposition[J]. Sci Rep, 2019, 9(1):3025.
- [9] Herren C, Reijnen M, Pishnamaz M, et al. Incidence and risk factors for facet joint violation in open versus minimally invasive procedures during pedicle screw placement in patients with trauma[J]. World Neurosurg, 2018, 112:E711-E718.
- [10] Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo[J]. Spine(Phila Pa 1976), 1990, 15(1):11-14.
- [11] Babu R, Mehta AI, Brown CR, et al. Comparison of superior level facet joint violations during open and percutaneous pedicle screw placement[J]. Neurosurgery, 2012, 12(9):S47.
- [12] Lin EY, Kuo YK, Kang YN. Effects of three common lumbar interbody fusion procedures for degenerative disc disease:a network meta-analysis of prospective studies[J]. Int J Surg, 2018, 60:224-230.
- [13] 于圣会, 罗干, 陈果, 等. 单侧 MIS-TLIF 治疗极外侧腰椎间盘突出症[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(21):1926-1930.
- YU SH, LUO G, CHEN G, et al. Unilateral MIS-TLIF in the treatment of extreme lateral lumbar disc herniation[J]. Zhongguo Jiao Xing Wai Ke Za Zhi, 2019, 27(21):1926-1930. Chinese.
- [14] 李士学, 张为, 孙亚澎, 等. 两种通道下 MIS-TLIF 治疗退变性腰椎管狭窄症的对比研究[J]. 中华骨科杂志, 2019, 39:1275-1284.
- LI SX, ZHANG W, SUN YP, et al. Comparative study of MIS-TLIF under two channels in the treatment of degenerative lumbar spinal stenosis[J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2019, 39:1275-1284. Chinese.
- [15] 薛文, 管晓鹏, 刘林, 等. Quadrant 通道下 MIS-TLIF 联合膨脹式椎弓根螺钉治疗老年脊柱化脓性骨髓炎[J]. 中国骨伤, 2019, 32(10):937-940.
- XUE W, GUAN XL, LIU L, et al. MIS-TLIF combined with expandable pedicle screw under Quadrant channel for treatment of senile suppurative osteomyelitis of the spine[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(10):937-940. Chinese with abstract in English.
- [16] 陈诚, 浩洁, 张烽, 等. MIS-TLIF 与开放 TLIF 手术治疗单节段腰椎退行性疾病的比较[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(5):506-508.
- CHEN C, HAO J, ZHANG F, et al. Comparison of MIS-TLIF and open TLIF in the treatment of single-segment lumbar degenerative diseases[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Sun Shang Za Zhi, 2019, 34(5):506-508. Chinese.
- [17] Tan JH, Liu G, Ng R, et al. Is MIS-TLIF superior to open TLIF in obese patients? A systematic review and meta-analysis[J]. Eur Spine J, 2018, 27(8):1877-1886.
- [18] Chen KW, 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.
- [19] Jwalant YP, Vishal GK, Imtiyaz MZ, et al. Superior facet joint violations in single level minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion:a comparative study[J]. Asian Spine J, 2020, 14(1):25-32.
- [20] 林林志, 方国芳, 李修往, 等. 半自动脊柱手术机器人系统在脊柱外科治疗中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(24):3792-3796.
- LIN YZ, FANG GF, LI XW, et al. Application of semi-automatic spine surgery robot system in spinal surgery[J]. Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Jiu, 2020, 24(24):3792-3796. Chinese.
- [21] 周晓, 胡旭琪, 陆惠根, 等. 骨科机器人辅助与传统手术治疗胸腰椎骨折的对比研究[J]. 骨科临床与研究杂志, 2020, 5(3):138-142.
- ZHOU X, HU XQ, LU HG, et al. Comparative study of orthopedic robot-assisted and traditional surgery for thoracolumbar fractures[J]. Gu Ke Lin Chuang Yu Yan Jiu Za Zhi, 2020, 5(3):138-142. Chinese.
- [22] 姜树东, 郭函, 梁得华, 等. 机器人辅助 MIS-TLIF 手术治疗腰椎退行病的初步结果[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(7):586-591.
- JIANG SD, GUO H, LIANG DH, et al. Preliminary results of robot-assisted MIS-TLIF surgery in the treatment of lumbar degeneration[J]. Zhongguo Jiao Xing Wai Ke Za Zhi, 2020, 28(7):586-591. Chinese.
- [23] 吕振东, 陈智, 韩应超, 等. 机器人辅助颈椎后路椎弓根螺钉置入手术治疗颈椎病的置钉精确度与临床疗效[J]. 骨科临床与研究杂志, 2020, 5(3):131-137.
- LYU ZD, CHEN Z, HAN YC, et al. Robot-assisted posterior cervical pedicle screw placement for the treatment of cervical spondylosis:accuracy and clinical efficacy[J]. Gu Ke Lin Chuang Yu Yan Jiu Za Zhi, 2020, 5(3):131-137. Chinese.
- [24] 张在田, 张绪华, 施傅森, 等. 机器人辅助椎间孔镜治疗伴有严重脊柱畸形的椎间盘突出症临床疗效观察[J]. 中国现代医生, 2018, 56(35):19-22.
- ZHANG ZT, ZHANG XH, SHI FS, et al. Robot-assisted foraminal endoscopy in the treatment of lumbar intervertebral disc herniation with severe spinal deformity[J]. Zhongguo Xian Dai Yi Sheng, 2018, 56(35):19-22. Chinese.