

临床研究

DOI:10.13406/j.cnki.cxyb.003352

机器人辅助单边双通道内镜行腰椎减压融合内固定术的回顾性研究

刘晏东¹, 邓强², 张凯东³, 张彦军², 杨海云¹, 彭冉东², 王雨榕², 郭铁峰², 李军杰²(1. 甘肃中医药大学研究生院, 兰州 730030; 2. 甘肃省中医院脊柱疾病诊疗中心, 兰州 730050;
3. 兰州中医骨伤科医院骨一科, 兰州 730030)

【摘要】目的:通过与经皮脊柱内镜下腰椎减压融合内固定术进行比较,探讨机器人辅助单侧双通道内镜在腰椎减压融合内固定术中的运用及优势。**方法:**回顾性分析2021年2月至2022年6月甘肃省中医院脊柱疾病诊疗中心收治的26例需行腰椎减压融合术的患者,根据手术方式分为机器人辅助单侧双通道内镜行腰椎减压融合内固定术(Robot-assisted unilateral biportal endoscopy for lumbar interbody and fusion, R-ULIF)、经皮脊柱内镜辅助下腰椎减压融合内固定术(endoscopic lumbar interbody fusion, Endo-LIF)2组,R-ULIF组采用R-ULIF, Endo-LIF组采用Endo-LIF。分析并比较2组患者一般资料、2组透视次数、手术时间、出血量、术后住院时间、置钉优良率、融合率、并发症发生率、术后疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、Oswestry功能障碍指数评分(oswestry dysfunction index, ODI)、MacNab标准疗效评价等指标。**结果:**所有患者均顺利完成手术。R-ULIF组13例,其中男6例,女7例,年龄(53.92±9.86)岁;病程33.0(6.1,81.0)个月,手术时间(187.85±10.18)min,透视次数(7.92±0.95)次,术中出血量(54.54±4.72)mL,术后住院时间(3.92±0.86)d,置钉准确率98.1%(51/52),融合率92.3%,无并发症发生(0%);Endo-LIF组13例,其中男5例,女8例,年龄(52.38±10.89)岁;病程48.0(6.0,120.0)个月,手术时间(175.15±23.81)min,透视次数(13.77±1.48)次,术中出血量(104.31±6.81)mL,术后住院时间(5.23±1.01)d,置钉准确率76.9%(40/52),融合率84.6%,1例男性患者发生了硬膜撕裂,1例女性患者发生了融合器下沉,并发症发生率为15%。2组患者相比,R-ULIF组透视次数、术中出血量、术后住院时间小于Endo-LIF组($P<0.05$)。2组患者的VAS评分和ODI评分在各时间点均明显降低($P<0.05$);R-ULIF组患者术后1个月和3个月时ODI评分优于Endo-LIF组($P=0.017/P=0.047$),在术前、术后1周组间差异无统计学意义($P>0.05$)。术后6个月采用MacNab标准评价疗效,R-ULIF组获优9例、良2例、中1例、差1例,优良率84.6%;Endo-LIF组获优7例、良3例、中2例,差1例,优良率76.9%。**结论:**机器人辅助单边双通道内镜行腰椎减压融合术治疗腰椎间盘突出合并腰椎失稳,短期内临床疗效安全可靠,置钉成功率高,辐射暴露少,术中出血量少,患者住院时间少,值得临床推广。

【关键词】手术机器人;单侧双通道脊柱内镜;减压融合术;微创脊柱外科;临床研究

【中图分类号】R687.3

【文献标志码】A

【收稿日期】2023-04-06

Robot-assisted unilateral biportal endoscopy for lumbar decompression, fusion, and internal fixation: A retrospective study

Liu Yandong¹, Deng Qiang², Zhang Kaidong³, Zhang Yanjun², Yang Haiyun¹, Peng Randong²,
Wang Yurong², Guo Tiefeng², Li Junjie²

(1. Graduate School, Gansu University of Chinese Medicine; 2. Center for Diagnosis and Treatment of Spinal Diseases, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine; 3. First Department of Orthopedics, Lanzhou Orthopedic Hospital of Traditional Chinese Medicine)

【Abstract】**Objective:** To investigate the application and advantages of robot-assisted unilateral biportal endoscopy in lumbar decompression, fusion, and internal fixation by comparing it with percutaneous spinal endoscopy. **Methods:** A retrospective analysis was performed for 26 patients who were admitted to Center for Diagnosis and Treatment of Spinal Diseases, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, from February 2021 to June 2022 and needed to undergo lumbar decompression and fusion, and according to the surgical procedure, they were divided into R-ULIF group and Endo-LIF group. The patients in the R-ULIF group were treated with robot-assisted unilateral biportal endoscopy for lumbar interbody fusion(R-ULIF), and those in the Endo-LIF group were treated

作者介绍:刘晏东,Email:1327171163@qq.com,

研究方向:中西医结合防治骨科疾病的研究。

通信作者:邓强,Email:2959183478@qq.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:82060879);甘肃省自然科学基金资助项目(编号:20JR10RA356,22JR5RA624);

兰州市科技计划资助项目(编号:2022-3-30)。

优先出版:<https://link.cnki.net/urlid/50.1046.r.20231009.1520.004>

(2023-10-12)

with percutaneous spinal endoscopic lumbar interbody fusion (Endo-LIF). The two groups were analyzed and compared in terms of general data, fluoroscopy frequency, time of operation, bleeding volume, length of postoperative hospital stay, excellent and good rate of screw placement, fusion rate, the incidence rate of complications, visual analogue scale (VAS) score for postoperative pain, Oswestry dysfunction index (ODI) score, and MacNab efficacy evaluation standard. **Results:** All patients completed the operation successfully. There were 13 patients (6 male patients and 7 female patients) in the R-ULIF group, with an age of (53.92 ± 9.86) years, a course of disease of $33.0(6.1, 81.0)$ weeks, a time of operation of (187.85 ± 10.18) minutes, a fluoroscopy frequency of (7.92 ± 0.95) times, an intraoperative blood loss of (54.54 ± 4.72) mL, a length of postoperative hospital stay of 3.92 ± 0.86 days, an accuracy rate of screw placement of 98.1% (51/52), and a fusion rate of 92.3%, and no complication was observed (0%); there were 13 patients (5 male patients and 8 female patients) in the Endo-LIF group, with an age of 52.38 ± 10.89 years, a course of disease of $48.0(6.0, 120.0)$ weeks, a time of operation of (175.15 ± 23.81) minutes, a fluoroscopy frequency of 13.77 ± 1.48 times, an intraoperative blood loss of (104.31 ± 6.81) mL, a length of postoperative hospital stay of (5.23 ± 1.01) days, an accuracy rate of screw placement of 76.92% (40/52), and a fusion rate of 84.6%, and the incidence rate of complications was 15% (one male patient had dural tear and one female patient had fusion cage sinking). Compared with the Endo-LIF group, the R-ULIF group had significantly lower fluoroscopy frequency and intraoperative blood loss and a significantly shorter length of postoperative hospital stay ($P < 0.05$). Both groups had significant reductions in VAS score and ODI score at each time point ($P < 0.05$), and the R-ULIF group had a better ODI score than the Endo-LIF group at 1 and 3 months after surgery ($P = 0.017$ and 0.047), while there was no significant difference between the groups before surgery and at 1 week after surgery ($P > 0.05$). Based on the MacNab efficacy evaluation standard at 6 months after surgery, there were 9 cases with excellent efficacy, 2 cases with good efficacy, 1 case with moderate efficacy, and 1 case with poor efficacy in the R-ULIF group, with an excellent and good rate of 84.6%; in the Endo-LIF group, there were 7 cases with excellent efficacy, 3 cases with good efficacy, 2 cases with moderate efficacy, and 1 case with poor efficacy, with an excellent and good rate of 76.9%. **Conclusion:** Robot-assisted unilateral biportal endoscopy for lumbar decompression, fusion, and internal fixation has a safe and reliable short-term clinical in the treatment of lumbar disc herniation combined with lumbar instability, with a high success rate of screw placement, low radiation exposure, low intraoperative blood loss, and a short length of hospital stay, and therefore, it holds promise for clinical application. In the treatment of lumbar disc herniation combined with lumbar instability.

【Key words】surgical robots; unilateral biportal endoscopy; decompression and fusion surgery; minimally invasive spine surgery; clinical study

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是指一组由髓核突出后压迫硬膜囊或脊神经根而引起的以腰痛或坐骨神经痛为主要症状的综合征,常合并腰椎失稳。长期以来,减压融合内固定术是治疗LDH合并椎体失稳的金标准^[1]。然而,开放式手术创伤大、恢复时间长的问题一直困扰着脊柱外科医生。随着微创理念的发展和内镜器械的优化,镜下减压融合手术由于其快速康复和微创的优势,正在逐步替代传统的开放手术。单侧双通道脊柱内镜(unilateral biportal endoscopy, UBE)是一种基于微创理念的新兴内镜技术,与目前成熟的脊柱内镜依赖于单一通道不同,UBE需要在同一侧经皮创建两个通道,即观察通道和工作通道^[2]。双通道设计决定了UBE具有手术视野自由移动和手术器械动态处理的优点,可以准确、微创地完成镜下减压和镜下椎间植骨融合(unilateral biportal endoscopy-LIF, ULIF)。椎弓根螺钉的精确植入是椎间融合术的重要补充,是恢复脊柱生物力学稳定和保证椎体内固定安全的关键步骤,而透视成像辅助下的徒手置钉无法满足对精确度和安全性的要求。随着人

工智能辅助和计算机导航技术成功地应用于微创脊柱手术,机器人辅助系统为螺钉植入的精确性和安全性创造了有利条件^[3]。而机器人辅助单边双通道脊柱内镜行腰椎减压融合内固定术将机器人的智能精准与UBE的微创灵活相结合,以更先进的术式达到治疗目的,使患者受益最大化。虽然机器人辅助置钉与UBE镜下融合技术引起了广泛关注,但目前仍然缺乏二者结合与其他内镜微创术式的临床疗效对比。现回顾性分析并比较2021年2月至2022年6月甘肃省中医院脊柱疾病诊疗中心采用R-ULIF和Endo-LIF治疗的26例腰椎间盘突出合并腰椎失稳患者的近期临床疗效及二者差异,以评估R-ULIF的应用优势。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取甘肃省中医院脊柱疾病诊疗中心2021年2月至2022年6月行手术治疗的LDH合并椎体失稳患者进行研究。纳入标准:①诊断为LDH合并单节段腰椎失稳且经过影像学资料验证;②伴有腰部及下肢放射痛、麻木等症状;

③病程超过 8 周且经过系统保守治疗 3 个月以上无好转；④随访时间 3 个月以上且临床资料完整。排除标准：①患者精神障碍，无法顺利完成随访；②合并多节段腰椎失稳者（>2 节段）；③合并脊柱结核、感染或肿瘤等疾病者；④既往心肺、肝肾功能不全者。本研究经甘肃省中医院医学伦理委员会审查批准（审批号：2021-020-01）。

1.2 一般资料

R-ULIF 组 13 例：男 6 例，女 7 例；年龄 43~74 岁，平均 (53.92 ± 9.86) 岁。病变节段： L_{4-5} 8 例， L_5-S_1 3 例， L_{3-4} 1 例， L_{2-3} 1 例。病程 3.2~152.4 个月，平均 33.0(6.1, 81.0) 个月。Endo-LIF 组 13 例：男 5 例，女 8 例；年龄 42~71 岁，平均 (52.38 ± 10.89) 岁。病变节段： L_{4-5} 7 例， L_5-S_1 3 例， L_{3-4} 2 例， L_{2-3} 1 例。病程 3.5~150 个月，平均 48.0(6.0, 120.0) 个月。

1.3 手术方法

1.3.1 R-ULIF 组 以 L_4 不稳， L_{4-5} 椎间盘突出为例。

1.3.1.1 定位标记 患者取俯卧位，并在腹部放置硅胶俯卧位支撑架。在 3D C 型臂（SIEMENS，德国）透视下定位左侧 L_{4-5} 间隙。并在透视下体表标记水平线，在 L_4-L_5 左侧椎弓根中心外 1 cm 标记纵线，在水平线与纵线的交叉点上方各 1.5 cm 标记横向切口线。术区常规消毒，铺无菌巾单。

1.3.1.2 减压处理 在 2 个标记切口处各切开皮肤约 1 cm，经切口向 L_{4-5} 椎板方向置入逐级软组织扩张管，透视确认扩张管尖端位于 L_{4-5} 棘突根部。台下调试关节镜影像系统至图像清晰，调整白平衡。经观察通道切口置入内镜，操作通道切口置入低温等离子刀头。止血、消融组织，持续生理盐水冲洗。显露黄韧带表面，交替使用磨钻、椎板钳咬开 L_{4-5} 椎板间黄韧带，向头侧、外侧、尾侧依次咬除黄韧带及椎板以扩大椎板窗及侧隐窝，显露神经根及硬脊膜。术中见硬脊膜与硬膜外组织粘连，使用神经拉钩分离粘连。将神经拉钩向椎管内置入，向中线牵开 L_5 神经根及硬脊膜，可见突出部分髓核进入视野。摘除突出及松散的髓核组织，使用神经拉钩牵拉硬膜及神经根，用尖刀切开纤维环，在椎间处理髓核。

1.3.1.3 终板准备及植骨融合 使用椎间撑开器撑开椎间隙，用 7~12 mm 大小的椎间铰刀逐级处理 L_{4-5} 椎间隙，使用椎间刮匙刮除椎体终板软骨。进行椎间融合器试模，拔除试模后通过植骨通道用植骨漏斗向椎间隙植入 5 mL 自体骨+同种异体骨混合颗粒，并向椎间隙置入 10 mm × 22 mm 的 peek 融合器 1 枚。术中透视见融合器位置良好。随后再次置入内镜，清理椎管内残留骨块。探查发现硬脊膜完整，神经根完整、松弛。镜下观察无活动性出血，退出内镜及工作通道。

1.3.1.4 螺钉植入 C 型臂透视下定位责任椎体并在体表标记。常规消毒、铺单。安装机器人示踪器及标尺。以 L_4 为 中心行 CT 三维重建。向机器人导入患者 CT 数据。规划 L_4-L_5 进针轨迹。规划成功后在机器人引导下依次经 L_4-L_5 椎弓根置入导丝。透视确认导丝位置理想后顺导丝分别拧入已测量好的椎弓根螺钉（ L_4, L_5 均为 $6.5 \text{ mm} \times 45.0 \text{ mm}$ ）。透视下确认椎弓根螺钉位置理想。向两侧椎弓根钉安装 60 mm 连接棒并固定 L_5 螺钉尾帽。撑开进行椎体复位后拧紧螺钉尾帽。再次透视见椎弓根螺钉位于相应椎体及椎弓根内，融合器位置放置满意， L_4 椎体复位良好。断钉尾冲洗切口。无菌生理盐水冲洗术部切口，彻底止血。皮下注射 0.375% 盐酸罗哌卡因 10 mL，放置并固定负压引流管 1 根，逐层缝合深

筋膜、皮下组织、皮肤。无菌纱布包扎。R-ULIF 手术操作示意见图 1，手术实物见图 2。

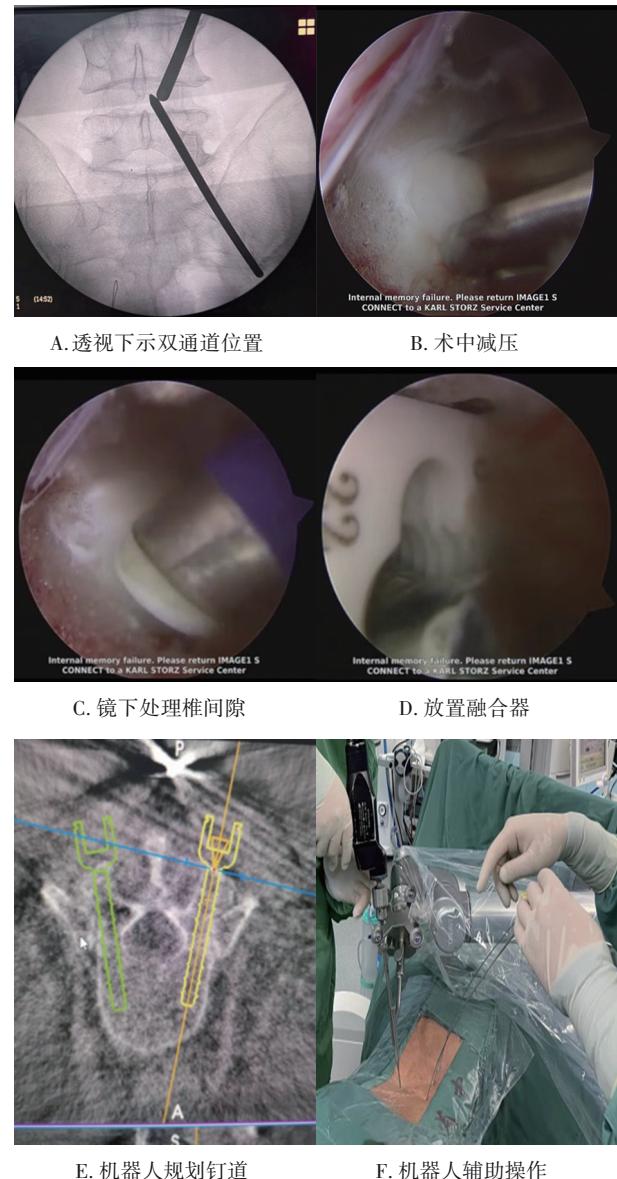


图 1 R-ULIF 手术操作图示



A. R-ULIF 组手术实物



B. Endo-LIF 组手术实物

图 2 2 组手术实物图示

1.3.2 Endo-LIF 组 以 L₄椎体失稳, L₄₋₅椎间盘突出为例。

1.3.2.1 定位标记 采取全身麻醉。患者取俯卧位, 放置硅胶俯卧位支撑架使腹部悬空以适度拉开椎间隙。在3D C形臂X线机(SIEMENS, 德国)透视下定位L₄₋₅椎间隙并进行体表标记穿刺点。术区常规消毒, 铺无菌巾单。

1.3.2.2 内镜置入 在C臂机引导下向L₄₋₅椎间孔方向穿刺, 正位透视见穿刺针前段位于L₄₋₅椎间隙平面, 侧位透视见穿刺针位于L₅椎体后上缘。在穿刺点处切开皮肤约0.9 cm后, 经穿刺针置入导丝, 顺导丝旋入1~4级软组织扩张套管和工作通道。C臂透视见通道前端位于L₅上关节基底部腹侧。撤除软组织扩张管并连接大通道内镜(iLESSYS Delta镜)。台下调试镜像系统至图像清晰并持续生理盐水冲洗。

1.3.2.3 减压处理 镜下将关节突环锯成形并锯除L₅上关节突基底腹侧部分, 保留关节面。咬除侧方黄韧带, 显露神经根。经神经根腹侧探查可见游离髓核, 摘除髓核后继续向神经根腹侧和头尾侧探查, 摘除突出椎间盘。减压后探查神经根, 见神经根完整、松弛。使用双极射频刀头止血、消融纤维环。

1.3.2.4 终板准备及植骨融合 更换“U”型外套管以保护神经根。处理椎间隙, 刮除软骨终板, 终板骨面以点状渗血为佳。选择合适的融合器置入椎间隙(自体及异体骨填充)。再次探查神经根松解理想。镜下观察无活动性出血, 撤出内镜及工作通道。

1.3.2.5 螺钉植入 向L₄、L₅椎体两侧各植入2枚经皮椎弓根螺钉。经透视证实椎弓根螺钉位置良好后经皮安装连接棒。撑开进行L₄椎体复位后拧紧螺帽进行固定。拍片示: 椎弓根螺钉位于相应椎体及椎弓根内, 融合器位置放置满意。无菌生理盐水冲洗术部切口并逐层缝合, 最后无菌敷料包扎。

1.4 术后处理

给予依诺肝素钠注射液以预防深静脉血栓; 甘露醇注射液、地塞米松磷酸钠注射液以消除术后水肿; 头孢曲松钠以消炎抗感染。术后第1天在医师指导下卧床功能锻炼, 术后第2天开始下地活动, 术后3个月内需佩戴支具并逐步增强腰背肌功能锻炼。

1.5 评价指标

记录并比较2组患者一般资料、透视次数、手术时间、出血量、术后住院时间、并发症发生率、术后3天VAS评分、ODI指数; 复查影像学资料以根据Gertzbein-Robbins分类标准评估置钉优良率; 随访第6个月基于影像资料并根据Birdwell标准评估融合率。术后6个月按照改良MacNab标准评价临床疗效。

1.6 统计学方法

采用软件SPSS 25.0进行数据处理。计量资料行正态性检验, 符合正态分布的数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示; 若不符合正态检验的数据用 $M_d(P_{25}, P_{75})$ 表示。组内比较采用配对t检验; 组间比较采用独立样本t检验; 2组多个时间点间比较采用重复测量方差分析, 若不满足球形检验, 采用Greenhouse-Geisser法进行校正, 同一组别不同时间点比较采用Bonferroni法, 同一时间点不同组别间比较采用多因素方差分析; 计数资料采用卡方检验或Fisher确切概率法; 组间比较采用卡方检验; 等级资料组间比较采用卡方检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 2组一般资料比较

共纳入26例符合条件的患者, 其中R-ULIF组13例, Endo-LIF组13例。其中R-ULIF组患者的性别与Endo-LIF组患者的性别差异无统计学意义($P=1.000$)。R-ULIF组患者的年龄(53.92 ± 9.86)岁与Endo-LIF组患者的年龄(52.38 ± 10.89)岁差异无统计学意义($P=0.709$)。R-ULIF组患者的病程33.0(6.1, 81.0)与Endo-LIF组患者的病程48.0(6.0, 120.0)差异无统计学意义($P=0.700$)。R-ULIF组患者的病变节段与Endo-LIF组患者的病变节段差异无统计学意义($P=0.940$)。见表1。

2.2 2组透视次数、手术时间、出血量、术后住院时间、置钉准确率、融合率、并发症发生率、MacNab疗效评价

R-ULIF组透视次数(7.92 ± 0.95)次少于Endo-LIF组透视次数(13.77 ± 1.48)次, 差异有统计学意义($P<0.05$)。R-ULIF组出血量(54.54 ± 4.72)mL少于Endo-LIF组出血量(104.31 ± 6.81)mL, 差异有统计学意义($P<0.05$)。R-ULIF组术后住院时间(3.92 ± 0.86)d少于Endo-LIF组术后住院时间(5.23 ± 1.01)d, 差异有统计学意义($P<0.05$)。R-ULIF组手术时间(187.85 ± 10.18)min, Endo-LIF组手术时间(175.15 ± 23.81)min, 差异无统计学意义($P=0.096$)。见表2。R-ULIF组置钉准确率(98.1%)高于Endo-LIF组置钉准确率(76.92%), 差异有统计学意义($P<0.05$)。R-ULIF组融合率(92.3%)高于Endo-LIF组融合率(84.6%), 但差异无统计学意义($P=1.000$)。R-ULIF组并发症发生率(0.0%), Endo-LIF组并发症发生率(15.0%), 差异无统计学意义($P=0.593$)。R-ULIF组MacNab疗效评价(84.6%), Endo-LIF组MacNab疗效评价(76.9%), 差异无统计学意义($P=1.000$)。见表3。置钉及融合率对比请见图3。

表1 2组一般资料比较[$\bar{x} \pm s$; n ; $M_d(P_{25}, P_{75})$]

组别($n=13$)	年龄(岁)	性别		病程(月)	病变节段			
		男	女		L _{2,3}	L _{3,4}	L _{4,5}	L _{5,S₁}
R-ULIF组	53.92 ± 9.86	6	7	33.0(6.1, 81.0)	1	1	8	3
Endo-LIF组	52.38 ± 10.89	5	8	48.0(6.0, 120.0)	1	2	7	3
$t/\chi^2/Z$ 值	0.378	0.158		-0.385			0.400	
P值	0.709	1.000		0.700			0.940	

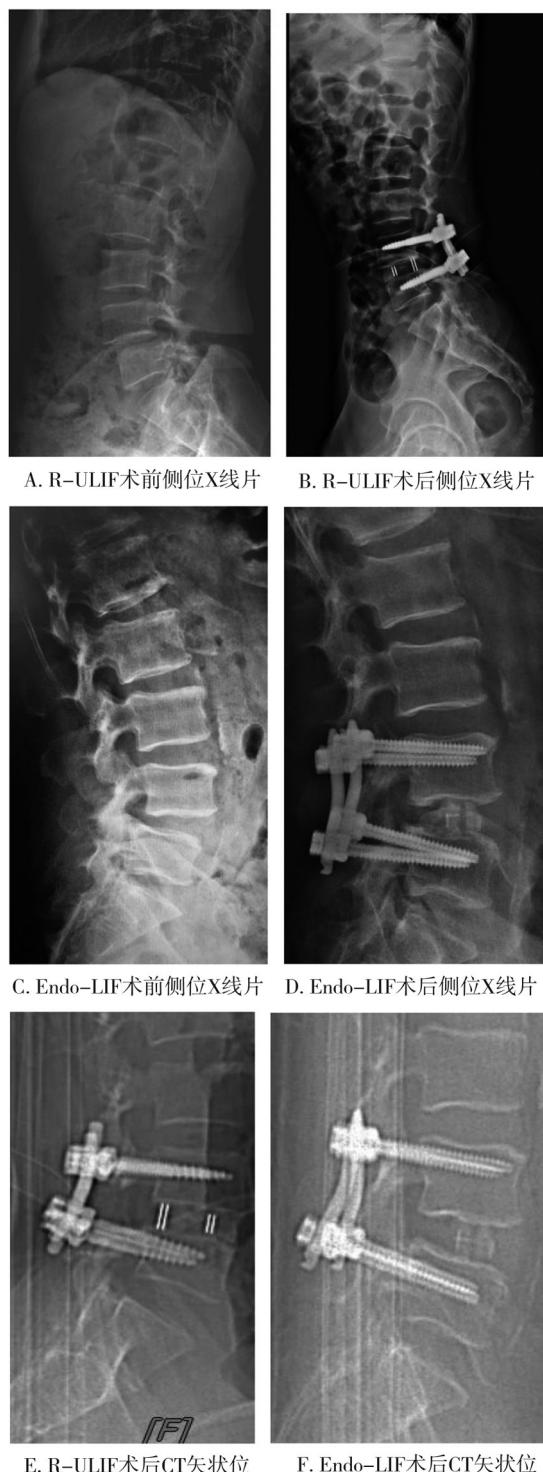


图3 术前后及2组间影像学资料对比图

表2 2组相关手术指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别(n=13)	手术时间 /min	透视次数 /次	术后住院 时间/d	术中出血量/ mL
R-ULIF 组	187.85 ± 10.18	7.92 ± 0.95	3.92 ± 0.86	54.54 ± 4.72
Endo-lif 组	175.15 ± 23.81	13.77 ± 1.48	5.23 ± 1.01	104.31 ± 6.81
t值	1.767	-11.967	-3.545	-21.655
P值	0.096	<0.001	0.020	<0.001

表3 2组临床结果比较(%)

组别(n=13)	置钉 准确率	MacNab 优良率	融合率	并发症 发生率
R-ULIF 组	98.1	84.6	92.3	0.0
Endo-lif 组	76.92	76.9	84.6	15.0
χ^2 值	10.637	0.248	0.377	1.182
P值	0.002	1.000	1.000	0.593

2.3 2组VAS评分、ODI评分比较

R-ULIF组无相关并发症发生, Endo-LIF组1例患者出现硬膜撕裂, 1例患者出现融合器下沉。本研究结果显示2组患者的VAS评分的组别效应差异无统计学意义($F=0.006$, $P=0.937$); 2组患者VAS评分的时间效应差异有统计学意义($F=391.694$, $P<0.001$)。时间与组别的交互作用差异无统计学意义($F=0.973$, $P=0.410$)。2组患者在术前、术后1周、术后1个月、3个月同一时间点的VAS评分组间比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表4。2组患者的ODI评分的组别效应差异无统计学意义($F=3.935$, $P=0.059$)。时间效应差异有统计学意义($F=760.087$, $P<0.001$)。时间与组别的交互作用差异无统计学意义($F=1.677$, $P=0.180$)。不同时间点组间比较, 2组患者的术前、术后1周ODI评分差异无统计学意义($P>0.05$), R-ULIF组患者术后1个月时的ODI评分优于Endo-LIF组($P=0.017$), 在术后3个月时也优于Endo-LIF组($P=0.047$)。见表5。

表4 2组术前后各时间点VAS评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别(n=13)	术前	术后1周	术后1个月	术后3个月
R-ULIF 组	6.85 ± 0.90	3.92 ± 0.86	2.00 ± 0.58	0.77 ± 0.60
Endo-lif 组	6.62 ± 1.26	4.30 ± 1.03	2.00 ± 0.71	0.69 ± 0.63

表5 2组术前后各时间点ODI评分比较($\bar{x} \pm s$)

组别(n=13)	术前	术后1周	术后1个月	术后3个月
R-ULIF 组	56.77 ± 3.27	48.77 ± 3.09	28.62 ± 3.15	19.77 ± 2.09
Endo-lif 组	59.69 ± 5.01	49.08 ± 2.99	32.15 ± 3.87	21.62 ± 2.40

3 讨 论

尽管开放型腰椎减压融合内固定术(lumbar interbody fusion, LIF)可通过不同的入路和植人物来实现神经结构的永久性减压以及椎体间生物力学的持久结合而被视作治疗部分脊柱疾病的金标准, 但其大创口、深创腔的特点决定了该术式存在失血、出现并发症以及破坏脊柱及其附件生物力学稳定性医源性风险^[1]。大量证据表明微创手术是开放手术可行且有效的替代方案, 其最终目标是减少患者的术后疼痛和致残率。微创经椎间孔椎间融合术(minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF)的应用标志着融合手术微创

化的开始。但是, MIS-TLIF 存在融合器和椎弓根螺钉错位、并发症多发以及辐射暴露等诸多问题^[4]。自 Osman 博士于 2012 年首次尝试使用同轴单通道经皮脊柱内镜行腰椎减压融合内固定术 (Endo-LIF) 之后, 镜下融合手术逐渐进入脊柱外科医生的视野并不断改进。但脊柱外科医生们逐渐发现同轴单通道内镜暴露出操作范围狭窄、视野范围局限、学习曲线陡峭、需要特定器械、工作效率低等明显的局限性^[5]。在本研究中, 课题组也采用了 Endo-LIF 技术治疗 LDH 合并椎体失稳。通过本研究课题组发现它有优点, 但也存在一些缺点。首先, Endo-LIF 相比于传统的开放手术, 减少了对周围肌肉和软组织的破坏, 从而降低了术后疼痛和康复时间。其次, 内镜能够提供清晰、放大的视野, 这样可以减少术中可能对周围神经和血管的损伤。而由于创伤小, 如感染、出血等术后并发症的发生率也相对较低。尽管同轴单通道经皮脊柱内镜手术可以有效地解除病变, 但由于其微创的特性, 有时可能无法完全清除病变, 导致病情复发。而且 Endo-LIF 技术难度大, 对医生的手术技巧和经验有很高的要求。如果技术不熟练, 也可能导致手术时间长、并发症增加等不良问题。本研究纳入的 13 例行 Endo-LIF 的患者中, 就有 1 例男性患者发生了硬膜撕裂, 1 例女性患者发生了融合器下沉, 并发症发生率为 15.0%。课题组分析硬膜撕裂可能是由于黄韧带与硬脊膜严重粘连以及单通道内镜操作范围狭窄所致; 融合器下沉是由于患者骨质疏松及融合器放置位置不当所致。其次, 由于 Endo-LIF 是通过一个狭窄通道进行手术, 所以对于一些严重或者多节段的病变, 可能无法完全处理。术中出血是任何术式都应注意的问题, 而内镜手术一旦出血, 可能会影响手术视野, 增加手术难度。再者, 这种手术需要特殊的设备和器械, 成本相对较高。

1996 年 De Antoni AJ 等^[6] 应用 UBE 开展椎间盘切除术并与显微内镜进行疗效比较, 这被认为是对 UBE 的首次详细叙述, 但由于近几十年椎间孔镜技术的迅猛发展, 因此忽略了 UBE 的技术优势。直到 2013 年 Soliman HM^[7] 使用 UBE 治疗 LDH 并取得较好疗效, UBE 才再次进入脊柱外科学界的视野。2017 年, Heo DH 等^[8] 将 UBE 技术首次应用于腰椎融合术 (ULIF)。ULIF 是指在内镜下完成对中央管、双侧神经根及侧隐窝狭窄的减压, 并在镜下完成髓核的摘除及椎间植骨融合。本研究也采用了 ULIF 治疗 LDH 伴椎体不稳。它通过同侧脊柱的 2 个经皮

切口来建立相互独立的观察通道和工作通道。课题组发现这种双通道设计为医生提供了比单通道内镜更加灵活的操作和更为广阔的视野。而且 ULIF 操作时术者可应用熟悉的常规手术器械进行镜下操作且 UBE 镜下视野与开放手术视野较为相似, 实现了开放手术和内镜手术的一体化组合。在文献中这被称为开放手术的内镜化^[9-10]。本课题组发现, ULIF 的独立可视化操作视野既弥补了 Endo-LIF 定位困难、视野狭窄、工作效率低的缺点, 又改进了大通道技术医源性损伤较大和视野模糊的不足。对于患者, ULIF 手术只需 4 个 1.5 cm 的小切口即可完成, 可以显著减少对正常解剖结构(如肌肉, 韧带和骨骼)的破坏, 具有椎管减压彻底、创伤小、出血少、恢复快、并发症少、融合率高等优点^[11-12]。正如本研究结果所示, R-ULIF 组在出血量、术后住院时间等指标方面均优于 Endo-LIF 组, 且差异具有统计学意义。而在融合率、并发症发生率及 MacNab 疗效评价等方面, R-ULIF 组未优于 Endo-LIF 组。可以明显看到, R-ULIF 组的手术时间长于 Endo-LIF 组, 这可能是机器人辅助置钉延长了手术时间。在 ULIF 操作过程中, 本课题组认为术者应关注以下几个关键问题: ①准确定位; ②熟练掌握超声骨刀; ③保持手术视野清晰; ④减压充分; ⑤融合牢固。

椎弓根螺钉内固定有利于促进局部骨质融合, 是 LIF 的重要补充, 是对椎骨进行解剖位置重建的重要步骤。经皮置钉具有创伤小、出血少、疼痛小、恢复快等优点, 而在将机器人导航技术引入之前, 经皮螺钉的植入主要依靠医生徒手完成, 但是徒手置钉不仅无法保证置钉的准确度, 还可能造成置钉失败所导致的神经血管损伤、脑脊液漏、二次手术等不良风险。精准治疗已成为 21 世纪脊柱外科的主要发展方向之一, 特别是以数字骨科为代表的这类技术已成为微创医学的研究热点^[13]。机器人导航定位系统可以利用其跟踪能力和术中三维导航系统进行空间定位和路径导航, 进而提高手术的准确性和安全性, 因此越来越受到骨科医生的青睐。1992 年, 全球首台脊柱机器人辅助手术在法国格勒诺布尔医学院完成, 标志着脊柱疾病的手术治疗进入了一个新的阶段^[14]。研究发现, 新一代机器人辅助下的经皮椎弓根螺钉植入的平均准确率为 99%^[15]。本研究中 R-ULIF 组所使用的“天玑”机器人是一个基于三维成像技术的智能导航和定位系统, 该系统的特点是主动定位和人机配合, 按照术前规划路径实现经皮螺钉的精确植入, 从而提高手

术疗效。本研究中置钉准确率为 98.1%，远高于徒手置钉 76.92% 的准确率；在辐射暴露方面，R-ULIF 组的透视次数 (7.92 ± 0.95) 分低于 Endo-LIF 组 (13.77 ± 1.48) 分，这说明机器人辅助置钉在精确性、安全性和一致性方面具有显著优势。但临床医师应努力提高应用机器人的熟练度和技巧，尽量减少手术总时间。随着光学成像技术和人工智能的发展，LIF 的减压融合方式已经从 Endo-LIF 发展为 UBE 镜下减压融合，置钉方式也已经从徒手置钉发展为机器人导航置钉。随着患者对手术质量的要求不断提高，这些新兴的微创技术在实践中的结合显得尤为重要。

R-ULIF 的技术特点是将机器人与 ULIF 技术相结合，利用 UBE 开阔的观察视野和操作空间完成病变节段的微创化减压融合；利用手术机器人的智能性、精准性完成经皮椎弓根螺钉的植入。R-ULIF 的先进性在于两种新技术的优势叠加和缺点抵消，在影像仪器的监视下以最大微创化和最大精准度的方式下达到最大效果的治疗目的，使患者受益最大化。医生、机器人、脊柱内镜三者的完美结合是对常规开放手术大切口、深创腔概念的深刻改变。以最小的代价去实现最大的效果，也符合微创外科、智能外科和快速康复外科的发展理念。但由于目前机器人辅助技术和 ULIF 技术均处于起步阶段，技术尚未完全成熟，也未完全普及。从 R-ULIF 组较长的手术时间来看，医生对于机器人辅助和 ULIF 技术的熟练程度和操作技巧尚需进一步加强。此外，目前机器人在脊柱内镜手术中的应用范围较为局限，只体现出了精准性，而智能性稍显不足。在未来，我们应通过拓展机器人的功能而进一步促进机器人与脊柱内镜的完美结合。

本研究采用 R-ULIF 与 Endo-LIF 应用于腰椎减压融合内固定术的短期临床疗效进行分析对比。该研究的局限性在于样本量较小，随访时间较短，不能获得长期临床疗效的对比结果。

参 考 文 献

- [1] 李凯华, 李玉民, 闫龙涛, 等. 两种内镜术式治疗腰椎巨大椎间盘突出比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(13): 1232-1234.
Li KH, Li YM, Yan LT, et al. Comparison of two endoscopic procedures for the treatment of giant lumbar disc herniation[J]. Chinese Journal of Orthopedics, 2023, 31(13): 1232-1234.
- [2] Cao SY, Fan BJ, Song X, et al. Expandable versus static cages in unilateral biportal endoscopy lumbar interbody fusion (ULIF) for treating degenerative lumbar spondylolisthesis (DLS): comparison of clinical and radiological results[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 505.
[3] Du SY, Dai J, Zhou ZT, et al. Size selection and placement of pedicle screws using robot-assisted versus fluoroscopy-guided techniques for thoracolumbar fractures: possible implications for the screw loosening rate[J]. BMC Surg, 2022, 22(1): 365.
[4] Silva PS, Jardim A, Pereira J, et al. Minimally invasive fusion surgery for patients with degenerative spondylolisthesis and severe lumbar spinal stenosis: a comparative study between MIDLIF and TLIF[J]. Eur Spine J, 2023, 32(9): 3210-3217.
[5] Osman SG. Endoscopic transforaminal decompression, interbody fusion, and percutaneous pedicle screw implantation of the lumbar spine: A case series report[J]. Int J Spine Surg, 2012, 6: 157-166.
[6] De Antoni DJ, Claro ML, Poehling GG, et al. Translaminar lumbar epidural endoscopy: anatomy, technique, and indications[J]. Arthroscopy, 1996, 12(3): 330-334.
[7] Soliman HM. Irrigation endoscopic discectomy: a novel percutaneous approach for lumbar disc prolapse[J]. Eur Spine J, 2013, 22(5): 1037-1044.
[8] Heo DH, Son SK, Eum JH, et al. Fully endoscopic lumbar interbody fusion using a percutaneous unilateral biportal endoscopic technique: technical note and preliminary clinical results[J]. Neurosurgical Focus, 2017, 43(2): E8.
[9] Kang MS, Heo DH, Kim HB, et al. Biportal endoscopic technique for transforaminal lumbar interbody fusion: review of current research [J]. Int J Spine Surg, 2021, 15(S3): 84-92.
[10] Gatam AR, Gatam L, Mahadhipti H, et al. Unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion: a technical note and an outcome comparison with the conventional minimally invasive fusion[J]. Orthop Res Rev, 2021, 13: 229-239.
[11] Kim JE, Choi DJ. Biportal endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion with arthroscopy[J]. Clin Orthop Surg, 2018, 10(2): 248-252.
[12] 周 庆, 周 宇, 刘跃洪, 等. 机器人辅助全内镜下腰椎减压融合技术在单节段腰椎融合术中的应用[J]. 华西医学, 2022, 37(10): 1465-1470.
Zhou Q, Zhou Y, Liu YH, et al. The application of robot assisted total endoscopic lumbar decompression and fusion technology in single segment lumbar fusion surgery[J]. Huaxi Medical Journal, 2022, 37(10): 1465-1470.
[13] Cui GY, Han XG, Wei Y, et al. Robot-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of lumbar spondylolisthesis[J]. Orthop Surg, 2021, 13(7): 1960-1968.
[14] Perfetti DC, Kisinde S, Rogers-LaVanne MP, et al. Robotic spine surgery: past, present, and future[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2022, 47(13): 909-921.
[15] Chang J, Yu LP, Li QQ, et al. Development and clinical trial of a new orthopedic surgical robot for positioning and navigation[J]. J Clin Med, 2022, 11(23): 7091.

(责任编辑:冉明会)