DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20250693

·短篇论著·

机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术治疗腰椎滑脱症的 3 年随访结果

易志新[1,2]，邓永清[3]，李贤坤[1]，武明鑫[1]，林　涛[4*]
1. 广州医科大学附属惠州医院脊柱外科，惠州 516002
2. 暨南大学医学教育基地，广州 510632
3. 广州医科大学附属惠州医院手术室，惠州 516002
4. 海军军医大学（第二军医大学）第二附属医院骨科脊柱畸形病区，上海 200003

［摘要］ **目的**　探讨机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术（RA-UBELIF）治疗腰椎滑脱症的近期与远期临床疗效。**方法**　回顾性分析 2020 年 7 月至 2022 年 7 月广州医科大学附属惠州医院脊柱外科 102 例因腰椎滑脱症接受腰椎融合术的患者资料，其中 50 例接受 RA-UBELIF 治疗，52 例接受微创经椎间孔腰椎椎体间融合术（MIS-TLIF）治疗。比较两组患者的一般资料、围手术期指标、术后并发症发生情况、腰腿痛视觉模拟量表（VAS）评分、Oswestry 功能障碍指数（ODI）、MacNab 疗效评价及影像学参数。**结果**　所有患者手术均顺利完成，3 年随访时骨性融合率达 100.00%。RA-UBELIF 组手术时间［（140.80±23.46）min vs （148.70±21.78）min］、透视次数［（7.76±1.29）次 vs （14.96±4.52）次］、术中出血量［（123.40±43.59）mL vs（141.92±42.38）mL］、术后引流量［（66.20±19.96）mL vs （100.20±32.23）mL］及术后住院天数［（6.12±2.07）d vs（8.50±1.13）d］与 MIS-TLIF 组相比均更低（均 $P<0.05$），但并发症发生率［6.00%（3/50） vs 5.77%（3/52）］两组间差异无统计学意义（$P>0.05$）。RA-UBELIF 组置钉准确率［97.00%（194/200）vs 89.42%（186/208）］及 3 年 MacNab 疗效优良率［92.00%（46/50）vs 88.46%（46/52）］与 MIS-TLIF 组相比均更高（均 $P<0.05$）。两组患者术后各时间点（3 d、1 个月、1 年、3 年）的 ODI、腰痛 VAS 评分、腿痛 VAS 评分及影像学参数（腰椎滑脱程度、椎间隙高度、椎间隙前凸 Cobb 角）均较术前改善（均 $P<0.05$）；RA-UBELIF 组术后 3 d、1 个月的 ODI 和腰痛 VAS 评分及术后 3 d 的腿痛 VAS 评分低于 MIS-TLIF 组（均 $P<0.05$），术后 1 年、3 年的椎间隙高度和椎间隙前凸 Cobb 角大于 MIS-TLIF 组（均 $P<0.05$）。**结论**　RA-UBELIF 治疗腰椎滑脱症具有微创、置钉精准、透视次数少、出血少、术后恢复快等优势，近期与远期临床疗效及影像学结果良好，融合率及患者满意度高，值得临床推广。

［关键词］ 机器人手术；腰椎滑脱；腰椎融合术；单侧双通道内镜手术；微创脊柱外科
［引用本文］ 易志新，邓永清，李贤坤，等. 机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术治疗腰椎滑脱症的 3 年随访结果［J］. 海军军医大学学报，2026，47（10）：1371-1378. DOI: 10.16781/j.CN31.2187/R.20250693.

Three-year follow-up outcomes of robot-assisted unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis

YI Zhixin[1,2], DENG Yongqing[3], LI Xiankun[1], WU Mingxin[1], LIN Tao[4*]
1. Department of Spinal Surgery, The Affiliated Huizhou Hospital, Guangzhou Medical University, Huizhou 516002, Guangdong, China
2. Medical Education Base of Ji'nan University, Guangzhou 510632, Guangdong, China
3. Department of Operating Room, The Affiliated Huizhou Hospital, Guangzhou Medical University, Huizhou 516002, Guangdong, China
4. Spinal Deformity Ward, Department of Orthopedics, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

［**Abstract**］ **Objective**　To investigate the short-term and long-term clinical efficacy of robot-assisted unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion (RA-UBELIF) in the treatment of lumbar spondylolisthesis. **Methods**　A retrospective analysis was conducted on 102 patients with lumbar spondylolisthesis who underwent lumbar fusion surgery at Department of Spine Surgery, The Affiliated Huizhou Hospital, Guangzhou Medical University from Jul. 2020 to Jul.

［收稿日期］ 2025-10-12　［接受日期］ 2026-04-28
［基金项目］ 惠州市科技计划项目（2022CZ010451），惠州市科技研发计划重点项目（2022CZ010427）. Supported by Huizhou Science and Technology Program (2022CZ010451) and Key Project of Huizhou Science and Technology Research and Development Program (2022CZ010427).
［作者简介］ 易志新，硕士，主治医师. E-mail: number0506@126.com
*通信作者（Corresponding author）. E-mail: tlinspine@outlook.com

2022. Among them, 50 patients received RA-UBELIF, and 52 patients received minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF). The general data, perioperative indicators, postoperative complications, visual analogue scale (VAS) scores for low back pain and leg pain, Oswestry disability index (ODI), MacNab outcome criteria, and radiological parameters were compared between the 2 groups. **Results** All surgeries were successfully completed, and the bony fusion rate at 3-year follow-up was 100.00%. The RA-UBELIF group had significantly lower values than the MIS-TLIF group in operation time ([140.80±23.46] min vs [148.70±21.78] min), fluoroscopy exposures (7.76±1.29 vs 14.96±4.52), intraoperative blood loss ([123.40±43.59] mL vs [141.92±42.38] mL), postoperative drainage volume ([66.20±19.96] mL vs [100.20±32.23] mL), and postoperative hospital stay ([6.12±2.07] d vs [8.50±1.13] d) (all $P<0.05$), but there was no significant difference in the complication rates (6.00% [3/50] vs 5.77% [3/52], $P>0.05$). Compared with the MIS-TLIF group, the RA-UBELIF group demonstrated significantly higher screw placement accuracy (97.00% [194/200] vs 89.42% [186/208]) and a higher rate of excellent/good outcomes according to the MacNab outcome criteria at 3 years postoperatively (92.00% [46/50] vs 88.46% [46/52]) (all $P<0.05$). At all postoperative time points (3 d, 1 month, 1 year, and 3 years), the ODI, low back pain VAS, leg pain VAS, and radiological parameters (degree of slippage, intervertebral space height, and intervertebral space lordotic Cobb angle) in both groups were significantly improved compared with preoperative values (all $P<0.05$). The RA-UBELIF group had significantly lower ODI and low back pain VAS at 3 d and 1 month postoperatively, and lower leg pain VAS at 3 d postoperatively than the MIS-TLIF group (all $P<0.05$), and also had significantly greater intervertebral space height and intervertebral space lordotic Cobb angle at 1 year and 3 years postoperatively than the MIS-TLIF group (all $P<0.05$). **Conclusion** RA-UBELIF for lumbar spondylolisthesis offers advantages of minimal invasiveness, accurate screw placement, fewer fluoroscopy exposures, less bleeding, and faster postoperative recovery. Both short-term and long-term clinical and radiological outcomes are satisfactory, with a high fusion rate and high patient satisfaction, making it worthy of clinical application.

［**Key words**］ robotic surgical procedures; lumbar spondylolisthesis; lumbar fusion; unilateral biportal endoscopic surgery; minimally invasive spinal surgery

［**Citation**］ Yi Z, Deng Y, Li X, et al. Three-year follow-up outcomes of robot-assisted unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion for lumbar spondylolisthesis[J]. Acad J Naval Med Univ, 2026, 47(10): 1371-1378. DOI: 10.16781/j.CN31.2187/R.20250693.

随着人口老龄化的加剧，腰椎滑脱症（lumbar spondylolisthesis，LS）已经成为脊柱外科的常见病之一。LS 往往合并腰椎管狭窄，常表现为腰痛、下肢根性痛及间歇性跛行等症状，严重降低患者生活质量[1-2]。外科手术是 LS 的有效治疗手段，后路腰椎减压融合术是常用术式[3-4]，然而传统后路融合术需要对椎旁的肌肉等软组织做广泛剥离，手术创伤大，易造成患者术后腰背疼痛[5]。微创经椎间孔腰椎椎体间融合术（minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion，MIS-TLIF）通过多裂肌和最长肌间隙入路，避免了传统开放手术对背部肌肉的广泛剥离，能有效减少背部软组织损伤和术中出血，减轻患者疼痛，被认为是治疗腰椎退变性疾病的经典微创术式。但是受限于扩张通道管径，MIS-TLIF 手术视野不足、操作效率低[6]。

单侧双通道内镜技术（unilateral biportal endoscopic，UBE）将操作通道和观察通道分开，避免了内镜器械对手术操作的干扰，有效地解决了 MIS-TLIF 中操作受限问题。该技术具有软组织损伤小、视野清晰、手术安全性高、操作灵活、手术效率高等优点，降低了技术难度，缩短了学习曲线[7]。2016 年 Heo 团队首次报道将 UBE 应用于腰椎融合术并取得满意临床疗效，为单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术（unilateral biportal endoscopic lumbar interbody fusion，UBELIF）治疗 LS 奠定了理论基础和技术基础[8-9]。

研究表明，机器人辅助（robot-assisted，RA）置钉能够提高置钉准确性和安全性，同时减少术中透视次数及术中出血，具有良好的临床应用价值[10-11]。然而，目前关于 RA-UBELIF 治疗 LS 的报道较少。本研究回顾性分析 2020 年 7 月至 2022 年 7 月于广州医科大学附属惠州医院脊柱外科接受 RA-UBELIF 或 MIS-TLIF 治疗的 LS 患者的术前、术中及术后 3 年的临床和影像学资料，评估 RA-UBELIF 治疗 LS 的近期和远期临床疗效。

1　资料和方法

1.1　一般资料　纳入标准：（1）有典型的下肢神经症状，如麻痛、乏力、间歇性跛行或马尾神经损害表现等，伴 / 不伴腰痛；（2）X 线片、CT 及

MRI 影像学检查结果与临床症状表现相吻合，诊断为 LS 和责任椎体明确，为单节段滑脱，不合并脊柱侧凸畸形；（3）Meyerding 分级[12] Ⅰ°、Ⅱ°；（4）超过3个月保守治疗症状改善不理想、无效或加重；（5）患者接受 RA-UBELIF 或 MIS-TLIF；（6）有完整随访资料且随访时间达到 3 年。根据上述标准，纳入 2020 年 7 月至 2022 年 7 月广州医科大学附属惠州医院脊柱外科接受微创手术治疗的 LS 患者 102 例。所有患者的手术均由同一手术团队完成。所有患者或家属术前均签署手术知情同意书。本研究获得广州医科大学附属惠州医院伦理委员会审核批准（2025-KY-097-01）。

1.2　手术方法

1.2.1　RA-UBELIF 组　（1）RA 置钉：全身麻醉后，患者俯卧于全碳素脊柱手术床上，保持腹部悬空、双膝关节屈曲位，消毒后铺无菌巾，安放好国产天玑骨科手术机器人系统，通过 3D C 臂 X 线机扫描术区后将影像资料导入并做置钉规划，规划满意后 RA 精准置入导针，于主刀对侧置入合适规格椎弓根螺钉。（2）镜下减压融合：于主刀侧纵行扩大上下导针切口各 1～2 cm，分别建立观察通道和操作通道，内镜直视下利用射频刀头显露术区，切除部分下关节突、椎板下缘、上关节突尖部，扩大侧隐窝，显露行走根外缘及椎间盘。内镜直视下经椎间孔入路切除髓核组织、刮除终板软骨。对于Ⅰ°滑脱患者，植骨、植入合适尺寸融合器后，通过钉棒系统双侧进行提拉复位；对于Ⅱ°滑脱患者，内镜下进行撬拨撑开，紧固对侧钉棒进行撑开、提拉复位，再行植骨、融合器打入，同侧钉棒再次行提拉复位。经 C 臂 X 线机透视复位满意后，放置负压引流管后结束手术。

1.2.2　MIS-TLIF 组　患者麻醉后体位同RA-UBELIF 组，通过 C 臂 X 线机进行正侧位透视定位责任椎间隙及椎弓根位置，并做体表标记。消毒后铺无菌巾，在 C 臂 X 线机透视辅助下于责任椎体精准植入椎弓根导丝，对侧置入椎弓根螺钉；手术侧延长上下定位针切口，于肌间隙逐级植入美敦力扩张通道系统并固定，接入冷光源，切除上下关节突，切开扩大椎间孔，经椎间孔入路行椎间融合复位固定操作同 RA-UBELIF 组。经 C 臂 X 线机透视复位满意后，术区放置负压引流管后结束手术。

1.3　术后处理和观察指标

1.3.1　术后处理　常规使用一代头孢菌素进行预防性抗感染 24 h，术后 48 h 拔除引流管，术后 2 d 佩戴支具后下地活动，腰椎支具佩戴 2 个月，3 个月内避免弯腰负重和剧烈运动。

1.3.2　观察指标　记录手术时间、术中出血量、术中透视次数、术后住院天数、术后引流量及并发症发生情况，其中术中出血量＝灌洗液体出量＋吸引瓶中血性液体量－灌洗液体入量＋纱布估算量（完全湿透小纱块约 20 mL、大纱块约 50 mL）。术后 3 d、1 个月、1 年及 3 年复查 X 线片和 CT。根据术后 3 d CT 影像学资料，按 Gertzbein-Robbins 分级标准（图 1）评估置钉准确性：A 级，螺钉完全位于椎弓根内；B 级，穿破椎弓根皮质＜2 mm；C 级，穿破椎弓根皮质≥2 mm 但＜4 mm；D 级，穿破椎弓根皮质≥4 mm 但＜6 mm；E 级，穿破椎弓根皮质≥6 mm 或在椎弓根外。置钉优良率（%）＝（A 级置钉数＋B 级置钉数）/ 置钉总数 ×100%。计算术后 3 d、1 个月、1 年及 3 年滑脱程度、椎间隙高度及椎间隙前凸 Cobb 角改善情况（图 2）。记录术前及术后 3 d、1 个月、1 年及 3 年 Oswestry 功能障碍指数（Oswestry disability index，ODI）、疼痛视觉模拟量表（visual analogue scale，VAS）评分。术后 3 年随访时采用 Bridwell 评级[13] 评估椎间植骨融合情况，依据改良 MacNab 疗效评定标准[14] 评价术后疗效：优，症状完全消失，恢复原来的工作和生活；良，有轻微症状，活动轻度受限，对工作生活无影响；可，症状减轻，活动受限，影响正常工作和生活；差，治疗前后症状无明显变化，甚至加重。

图 1　Gertzbein-Robbins 分级标准示意图

A 级：螺钉完全位于椎弓根内；B 级：穿破椎弓根皮质＜2 mm；C 级：穿破椎弓根皮质≥2 mm 但＜4 mm；D 级：穿破椎弓根皮质≥4 mm 但＜6 mm；E 级：穿破椎弓根皮质≥6 mm 或在椎弓根外.

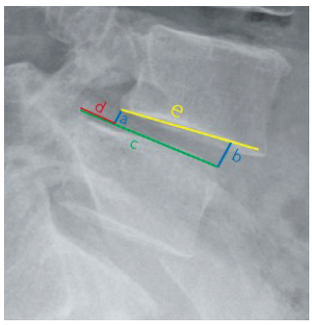

图 2　腰椎侧位 X 线片测量示意图

a：上位椎体下缘后部与下位椎体上缘后部之间的垂直距离，即椎间隙后缘高度；b：上位椎体下缘前部与下位椎体上缘前部之间的垂直距离，即椎间隙前缘高度；c：下位椎体上终板的前后径（矢状径）或下位椎体上终板切线；d：上位椎体下终板后缘至下位椎体上终板后缘的距离；e：上位椎体下终板切线. 滑脱程度（100%）＝d/c×100%；椎间隙高度（mm）＝（a＋b）/2；手术节段椎间隙前凸Cobb角为e、c延长线的夹角.

1.4　统计学处理　使用SPSS 26.0 软件进行统计学分析。对计量资料进行正态性检验，均服从正态分布，以 $\bar{x}\pm s$ 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，术前及术后不同时间点资料比较采用重复测量方差分析并采用最小显著性差异法进行两两比较。计数资料以例数和百分数表示，比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。检验水准（α）为 0.05。

2　结　果

2.1　一般资料　RA-UBELIF 组 50 例，其中男 28 例、女 22 例，Meyerding 分级Ⅰ° 31 例、Ⅱ° 19 例，年龄为 44～78 岁，平均年龄为（63.14±15.86）岁，BMI 为 19～28 kg/m^2，平均 BMI 为（24.16±2.90）kg/m^2，手术部位 $L_{3/4}$ 8 例、$L_{4/5}$ 25 例、L_5/S_1 17 例。MIS-TLIF 组 52 例，其中男 25 例、女 27 例，Meyerding 分级Ⅰ° 34 例、Ⅱ° 18 例，年龄为 35～78 岁，平均年龄为（58.38±15.20）岁，BMI 为 17～29 kg/m^2，平均 BMI 为（25.81±4.08）kg/m^2，手术部位 $L_{3/4}$ 7 例、$L_{4/5}$ 24 例、L_5/S_1 21 例。两组间一般资料比较差异无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.2　围手术期资料　所有患者手术均顺利完成，典型病例影像资料见图 3、图 4。RA-UBELIF 组总手术时间为 126～210 min，平均（140.80±23.46）min；术中出血量为 50～200 mL，平均（123.40±43.59）mL；术后住院天数为 3～11 d，平均（6.12±2.07）d；术后引流量为 40～160 mL，平均（66.20±19.96）mL；透视次数为 5～11 次，平均（7.76±1.29）次。MIS-TLIF 组总手术时间为 125～200 min，平均（148.70±21.78）min；术中出血量为 80～200 mL，平均（141.92±42.38）mL；术后住院天数为 6～15 d，平均（8.50±1.13）d；术后引流量为 60～135 mL，平均（100.20±32.23）mL；透视次数为 10～24 次，平均（14.96±4.52）次。RA-UBELIF 组的上述围手术期指标均优于 MIS-TLIF 组（均 $P<0.05$）。

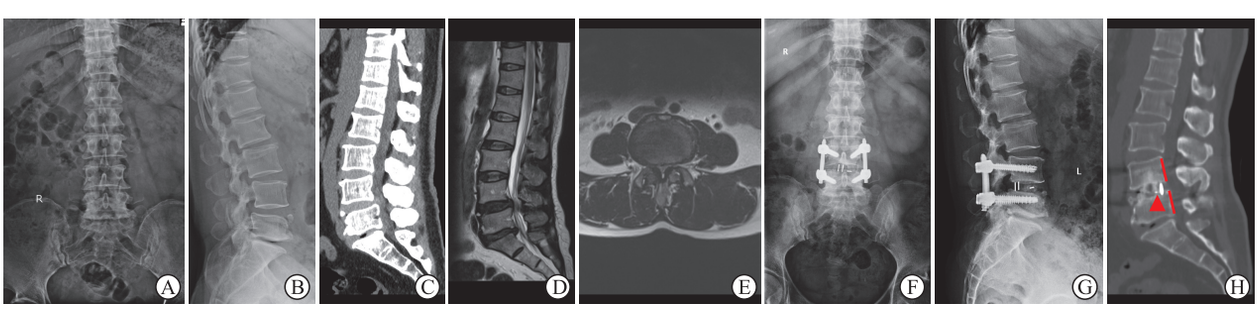

图 3　RA-UBELIF 组典型病例影像资料

患者 49 岁，女，因“反复腰痛伴双下肢麻痛 10 年，加重 1 个月”入院，诊断为腰椎滑脱症（Meyerding 分级Ⅰ°），行 $L_{4/5}$ RA-UBELIF。术后即刻侧位X线片见完全复位，术后 3 年CT矢状面见骨性融合（Bridwell Ⅰ级）. A：术前正位X线片；B：术前侧位X线片；C：术前CT矢状面；D：术前MRI矢状面；E：术前MRI水平面；F：术后即刻正位X线片；G：术后即刻侧位X线片；H：术后 3 年CT矢状面（红色三角所示为术后融合器位置和椎间融合情况，红色竖线所示为融合椎间隙上下椎体后缘）. RA-UBELIF：机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术；CT：计算机断层扫描；MRI：磁共振成像.

2.3　临床疗效　所有患者均随访超过 3 年，平均（36.94±0.80）个月。两组患者术后各时间点 ODI、腰痛 VAS 评分及腿痛 VAS 评分均较术前改善，差异有统计学意义（均 $P<0.01$）。RA-UBELIF 组术后 3 d 和 1 个月 ODI、腰痛 VAS 评分及术后 3 d 腿痛 VAS 评分低于 MIS-TLIF 组（均

$P<0.05$）。两组间术后 1 年、3 年 ODI、腰痛 VAS 评分和术后 1 个月、1 年和 3 年腿痛 VAS 评分比较差异无统计学意义（均 $P>0.05$）。见图 5。术后 3 年随访时，根据 MacNab 疗效评定标准，RA-UBELIF 组优 44 例、良 2 例、可 4 例、差 0 例，优良率达 92.00%（46/50）；MIS-TLIF 组优 42 例、良 4 例、可 6 例、差 0 例，优良率达 88.46%（46/52）；两组间优良率差异有统计学意义（$P<0.05$）。

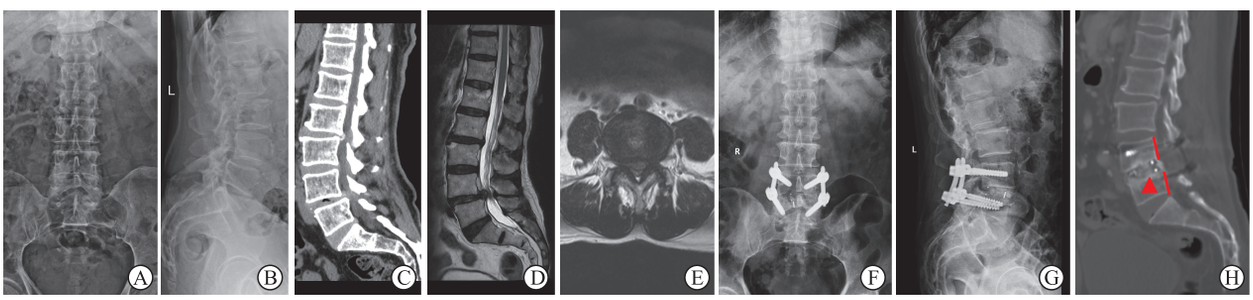

图 4　MIS-TLIF 组典型病例影像资料

患者 82 岁，男，因“反复腰痛伴双下肢麻痛 5 年，加重伴鞍区感觉麻木 2 周”入院，诊断为腰椎滑脱症（Meyerding 分级Ⅰ°），行 $L_{4/5}$ MIS-TLIF。术后即刻数字化侧位X线片见完全复位，术后 3 年CT矢状面见骨性融合（Bridwell Ⅱ级）. A：术前正位X线片；B：术前侧位X线片；C：术前CT矢状面；D：术前MRI矢状面；E：术前MRI水平面；F：术后即刻正位X线片；G：术后即刻侧位X线片；H：术后 3 年CT矢状面（红色三角所示为术后融合器位置和椎间融合情况，红色竖线所示为融合椎间隙上下椎体后缘. MIS-TLIF：微创经椎间孔腰椎椎体间融合术；CT：计算机断层扫描；MRI：磁共振成像.

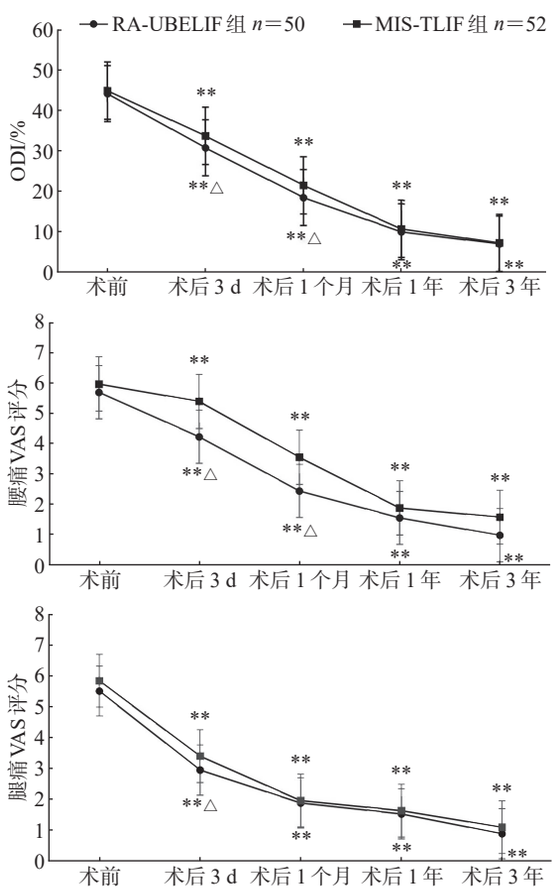

图 5　两组 LS 患者临床疗效比较

$^{**}P<0.01$ 与同组术前比较；$^{△}P<0.05$ 与相同时间点MIS-TLIF 组比较. $\bar{x}\pm s$. LS：腰椎滑脱症；ODI：Oswestry 功能障碍指数；VAS：视觉模拟量表；RA-UBELIF：机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术；MIS-TLIF：微创经椎间孔腰椎椎体间融合术.

2.4　影像学评估结果　术后 3 d 复查 CT，依据 Gertzbein-Robbins 分级标准进行评估，RA-UBELIF 组 50 例患者共置入螺钉 200 颗，其中 A 级 182 枚、B 级 12 枚、C 级 6 枚、D 级 0 枚、E 级 0 枚，置钉准确率达 97.00%（194/200）；MIS-TLIF 组 52 例患者共置入螺钉 208 颗，其中 A 级 168 枚、B 级 18 枚、C 级 22 枚、D 级 0 枚、E 级 0 枚，置钉准确率达 89.42%（186/208），两组间差异有统计学意义（$P<0.05$）。术后 3 年根据 Bridwell 评级标准评估，两组患者均达到骨性融合，其中 RA-UBELIF 组 Bridwell 评级Ⅰ级 38 例（76.00%）、Ⅱ级 8 例（16.00%），MIS-TLIF 组Ⅰ级 41 例（78.85%）、Ⅱ级 11 例（21.15%），融合率均达到 100.00%。术后 3 d、1 个月、1 年及 3 年两组患者腰椎滑脱程度均较术前明显减轻，椎间隙高度和椎间隙前凸 Cobb 角均较术前增大，差异有统计学意义（均 $P<0.05$）。术后各时间点两组患者间腰椎滑脱程度的差异无统计学意义（均 $P>0.05$）；术后 3 d、1 个月两组患者椎间隙高度和椎间隙前凸 Cobb 角比较差异无统计学意义（均 $P>0.05$），但是术后 1 年及 3 年 RA-UBELIF 组大于 MIS-TLIF 组，差异有统计学意义（均 $P<0.05$）。见图 6。

2.5　并发症情况　RA-UBELIF 组术后并发症发生率为 6.00%（3/50），1 例患者术后出现拇背伸肌力下降，从术前Ⅳ级降至Ⅲ$^{+}$级，考虑融合器打入

过程挤压到神经根导致，术后予甲钴胺营养神经处理，术后 1 个月肌力恢复至Ⅳ级；1 例患者术后出现脑脊液漏，术中未见明显硬膜撕裂，予早期拔除引流管后加压包扎处理，伤口正常愈合，无神经症状，术后恢复良好；1 例患者术后 1 个月复查见融合器往后退出约 3 mm，无神经症状，考虑早期活动量大导致，嘱患者减少活动量，3 个月内多卧床，严格佩戴支具 2 个月，术后 3 个月及末次随访时见融合器后移。MIS-TLIF 组术后并发症发生率为 5.77%（3/52），2 例患者出现伤口浅表感染，换药联合抗生素抗感染后好转；1 例患者出现术后脑脊液漏，考虑硬膜撕裂，拔管后加压包扎。

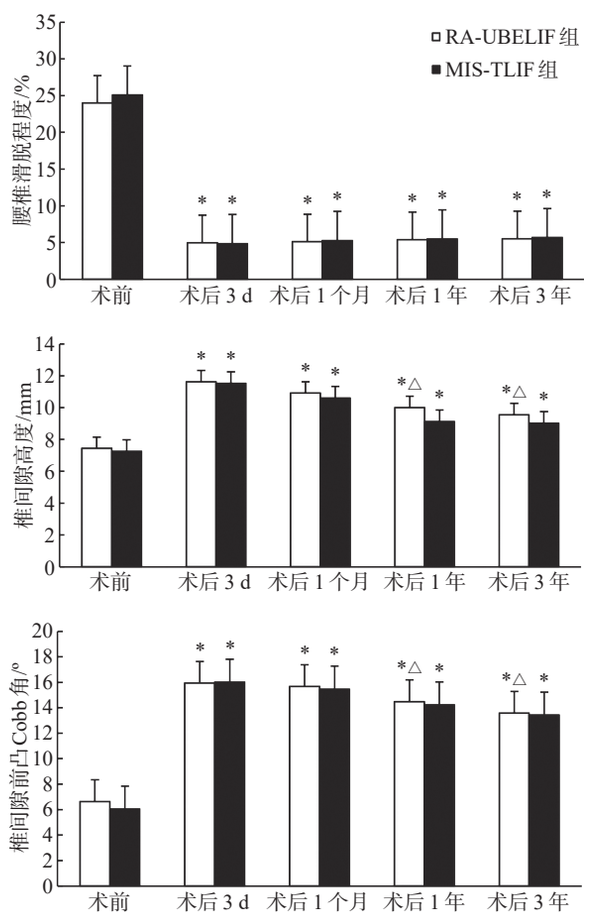

图 6　两组 LS 患者影像学参数评估结果

*P＜0.05 与同组术前比较；△P＜0.05 与MIS-TLIF 组相同时间点比较. $\bar{x}\pm s$. LS：腰椎滑脱症；RA-UBELIF：机器人辅助单侧双通道内镜下腰椎椎体间融合术；MIS-TLIF：微创经椎间孔腰椎椎体间融合术.

3　讨　论

UBE 治疗 LS 是当前研究热点，UBELIF 治疗 LS 具备创伤小、出血少、术后恢复快等优势，而 RA 置钉具有精准、透视次数少等特点。然而，目前关于 RA-UBELIF 治疗 LS 的临床报道极少，尚未见其与经典微创 MIS-TLIF 治疗效果进行比较的报道。本研究创新性地开展 RA-UBELIF 与 MIS-TLIF 治疗 LS 的对照研究，比较 2 种术式的临床疗效。

RA 置钉的定位精准性高，误差在 0.1 mm 以内，显著降低了置钉偏差导致的脊髓、神经和血管损伤风险，同时有利于减少术中射线暴露[15-16]。Beyer 等[17]报道 RA 下置入 482 枚椎弓根螺钉，其中 471 枚（97.7%）评价为 A 或 B 级。朱括昀等[18]报道应用骨科 RA 置钉 178 枚，准确率达 96.6%，失误率远低于徒手置钉的 4.9%～37.5%[19]。根据 Gertzbein-Robbins 分级标准，本研究中 RA 下椎弓根螺钉的置入准确率达 97.00%，远高于 MIS-TLIF 组 89.42% 的准确率，这与 Yu 等[20]报道的 RA 下椎弓根螺钉的置钉准确率（97%～99%）相似，真正意义上实现了精准、安全置钉。本研究结果显示，RA-UBE LIF 组平均透视（7.76±1.29）次，远低于 MIS-TLTF 组［（14.96±4.52）次］，显著减少了患者的辐射暴露次数。因此，RA 置钉具有精准、安全、透视次数少等优势。

本研究发现 RA-UBELIF 治疗 LS 在手术时间、术中出血量、术后住院天数和术后引流量方面均低于 MIS-TLIF 组，3 年随访所有患者均骨性融合，且 MacNab 满意度明显高于 MIS-TLIF 组，远期临床效果满意，这与陈超等[21]报道结果相吻合，展现出 RA-UBELIF 除了具有 RA 置钉的精准、安全、透视次数少等优势外，还具备微创、出血少、术后住院时间短和快速康复等优点。Chen 等[22]认为 UBE 学习曲线陡峭，而 RA-UBELIF 治疗 LS 则需要更高的要求，需要熟练掌握 RA、UBELIF、单侧入路双侧减压（unilateral laminotomy for bilateral decompression）和内镜下滑脱复位等多种技术。根据笔者团队超过 1 000 例 UBELIF 经验及文献报道[22-24]，建议术者需要有超过 60 例常规 UBELIF 手术经验。于超等[25]认为 RA-UBELIA 手术时间较徒手经皮置钉的 UBELIF 长，其原因除了与对机器人和 UBE 熟练程度相关外，也与手术流程有关。段小锋等[26]提出手术次序对 UBELIF 疗效存在影响，认为“定位标记－置入导丝－内镜下减压融合－经皮置钉”是最佳顺序。本团队在此基础上进一步优化，提出以下 RA-UBELIF 无缝衔接流程：定位

标记 -RA 植入导丝，护理团队在手术规划过程中准备好置钉并做好连接内镜准备，助手先置入对侧螺钉，主刀建立观察通道和操作通道，同时护理团队连接好关节镜，然后行内镜下复位减压融合固定。该流程通过优化医护团队配合流程来缩短手术时间，也与 Jung 等[27]报道的先减压后复位的流程相吻合。

本研究还发现两组患者术后各时间点 ODI、腰痛 VAS 评分和腿痛 VAS 评分均较术前明显缓解，证明 RA-UBELIF 手术疗效同经典 MIS-TLIF 一样可靠。此外，RA-UBELIF 组术后 3 d、1 个月 ODI、腰痛 VAS 评分和术后 3 d 腿痛 VAS 评分均优于 MIS-TLIF 组，但是在术后 1 年及 3 年两组间差异无统计学意义，表明 RA-UBELIF 近期临床疗效优于经典的 MIS-TLIF，远期临床疗效趋于一致，体现出术后快速康复的优势。Han 等[28]也曾对 UBELIF 和 MIS-TLIF 短期临床结果进行系统综述和 meta 分析，结果同样显示 2 种术式的治疗效果基本相同。从影像学资料评估，两组患者术后各时间点腰椎滑脱程度、椎间隙高度和椎间隙前凸 Cobb 角均较术前明显改善，但术后 1 年、3 年 RA-UBELIE 组椎间隙高度和椎间隙前凸 Cobb 角均优于 MIS-TLIF 组，表明两组患者滑脱情况均得到有效改善，但是 RA-UBELIF 组远期影像学结果优于 MIS-TLIF 组，分析可能原因有以下几点：（1）RA 下精准置钉，避免反复穿刺破坏椎体及附件结构，增加钉道把持力，有利于滑脱复位；（2）内镜下减压融合，对背部软组织损伤和对骨结构破坏小，有利于脊柱稳定的长期维持；（3）对于Ⅰ°和Ⅱ°滑脱，团队采取内镜下松解双侧关节突、镜下撬拨、弯棒提拉复位等方式，均能达到理想的复位效果。

尽管本研究获得了积极的结果，但仍存在一定的局限性。（1）本研究存在病例数量少、疾病单一等缺点，且是单中心研究。（2）在手术方案选择上存在一定偏倚。（3）本研究未对骨密度、滑脱分类等问题进行细化。（4）机器人的作用目前主要体现在置钉方面，功能相对单一，且机器人价格昂贵，一定程度上限制了该技术在基层医院的推广。针对以上问题，后期将扩大病例数量及类型并联合多中心来研究其临床的安全性和有效性。

综上所述，RA-UBELIF 治疗 LS 椎弓根螺钉置入精准、手术安全性高、透视次数少，还具有内镜手术创伤小、出血少、术后恢复快和术后并发症少等优点，同时术后随访腰腿痛和腰椎功能改善明显，椎间高度和椎间隙前凸 Cobb 角明显恢复，椎间融合率高，可获得理想的近、远期疗效，值得临床推广。值得注意的是，RA-UBELIF 治疗 LS 手术难度大，学习曲线长，初学者要谨慎选择。

［参 考 文 献］

［1］ Tebet M A. Current concepts on the sagittal balance and classification of spondylolysis and spondylolisthesis[J]. Rev Bras Ortop, 2014, 49(1): 3-12. DOI: 10.1016/j.rboe.2014.02.003.

［2］ Li N, Scofield J, Mangham P, et al. Spondylolisthesis[J]. Orthop Rev (Pavia), 2022, 14(3): 36917. DOI: 10.52965/001c.36917.

［3］ Alfieri A, Gazzeri R, Prell J, et al. The current management of lumbar spondylolisthesis[J]. J Neurosurg Sci, 57(2): 103-113.

［4］ Kreiner D S, Baisden J, Mazanec D J, et al. Guideline summary review: an evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of adult isthmic spondylolisthesis[J]. Spine J, 2016, 16(12): 1478-1485. DOI: 10.1016/j.spinee.2016.08.034.

［5］ Le H, Anderson R, Phan E, et al. Clinical and radiographic comparison between open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with bilateral facetectomies[J]. Global Spine J, 2021, 11(6): 903-910. DOI: 10.1177/2192568220932879.

［6］ Guo H, Song Y, Weng R, et al. Comparison of clinical outcomes and complications between endoscopic and minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis[J]. Global Spine J, 2023, 13(5): 1394-1404. DOI: 10.1177/21925682221142545.

［7］ Chu P L, Wang T, Zheng J L, et al. Global and current research trends of unilateral biportal endoscopy/biportal endoscopic spinal surgery in the treatment of lumbar degenerative diseases: a bibliometric and visualization study[J]. Orthop Surg, 2022, 14(4): 635-643. DOI: 10.1111/os.13216.

［8］ Heo D H, Son S K, Eum J H, et al. Fully endoscopic lumbar interbody fusion using a percutaneous unilateral biportal endoscopic technique: technical note and preliminary clinical results[J]. Neurosurg Focus, 2017, 43(2): E8. DOI: 10.3171/2017.5.FOCUS17146.

［9］ Hwa Eum J, Hwa Heo D, Son S K, et al. Percutaneous biportal endoscopic decompression for lumbar spinal stenosis: a technical note and preliminary clinical results[J]. J Neurosurg Spine, 2016, 24(4): 602-607. DOI:

10.3171/2015.7.SPINE15304.

［10］ Devito D P, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot: retrospective study[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(24): 2109-2115. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181d323ab.

［11］ 孟磊，张贯林，李东风，等. “天玑” 骨科手术机器人辅助下经皮椎弓根钉内固定治疗胸腰椎骨折的疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志，2022，37(7)：705-708. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.07.009.

［12］ Koslosky E, Gendelberg D. Classification in brief: the Meyerding classification system of spondylolisthesis[J]. Clin Orthop Relat Res, 2020, 478(5): 1125-1130. DOI: 10.1097/CORR.0000000000001153.

［13］ Bridwell K H, Lenke L G, McEnery K W, et al. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine: do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects [J]. Spine (Phila Pa 1976), 1995, 20(12): 1410-1418. DOI: 10.1097/00007632-199506020-00014.

［14］ Chen Y, Chang Z, Yu X. An amendment to the neidre and MacNab classification system for lumbosacral nerve root anomaly and its implication in percutaneous endoscopic lumbar discectomy[J]. World Neurosurg, 2018, 111: 16-21. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.12.004.

［15］ Lin M C, Liu H W, Su Y K, et al. Robot-guided versus freehand fluoroscopy-guided minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: a single-institution, observational, case-control study[J]. Neurosurg Focus, 2022, 52(1): E9. DOI: 10.3171/2021.10.FOCUS21514.

［16］ Li Y, Wei X, Liang Y, et al. Robot-assisted versus fluoroscopy-guided pedicle screw fixation of thoracolumbar compression fractures[J]. Medicine, 2023, 102(48): e36430. DOI: 10.1097/MD.0000000000036430.

［17］ Beyer R S, Nguyen A, Brown N J, et al. Spinal robotics in cervical spine surgery: a systematic review with key concepts and technical considerations[J]. J Neurosurg Spine, 2023, 38(1): 66-74. DOI: 10.3171/2022.7.SPINE22473.

［18］ 朱括昀，朱悦，刘欣春，等. 机器人辅助可视化椎弓根置钉技术的精准性及安全性分析[J]. 中华骨科杂志，2024，44(12)：811-816. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20230803-00070.

［19］ Gelalis I D, Paschos N K, Pakos E E, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective *in vivo* studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques[J]. Eur Spine J, 2012, 21(2): 247-255. DOI: 10.1007/s00586-011-2011-3.

［20］ Yu L, Chen X, Margalit A, et al. Robot-assisted vs freehand pedicle screw fixation in spine surgery—a systematic review and a meta-analysis of comparative studies[J]. Int J Med Robot, 2018, 14(3): e1892. DOI: 10.1002/rcs.1892.

［21］ 陈超，胡容瑞，霍智铭，等. 机器人辅助脊柱内镜下腰椎椎间融合术治疗单节段腰椎管狭窄症的临床疗效[J]. 中国脊柱脊髓杂志，2025，35(4)：359-365. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2025.04.04.

［22］ Chen L, Zhu B, Zhong H Z, et al. The learning curve of unilateral biportal endoscopic (UBE) spinal surgery by CUSUM analysis[J]. Front Surg, 2022, 9: 873691. DOI: 10.3389/fsurg.2022.873691.

［23］ Xu J, Wang D, Liu J, et al. Learning curve and complications of unilateral biportal endoscopy: cumulative sum and risk-adjusted cumulative sum analysis[J]. Neurospine, 2022, 19(3): 792-804. DOI: 10.14245/ns.2143116.558.

［24］ Park S M, Kim H J, Kim G U, et al. Learning curve for lumbar decompressive laminectomy in biportal endoscopic spinal surgery using the cumulative summation test for learning curve[J]. World Neurosurg, 2019, 122: e1007-e1013. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.10.197.

［25］ 于超，王静杰，陈晓艳，等. 骨科机器人辅助单侧双通道内镜技术对腰椎滑脱患者功能恢复的效果[J]. 中华实验外科杂志，2025，42(4)：755-757. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20240903-00685.

［26］ 段小锋，黄勇，丰瑞兵，等. 不同手术次序全内镜下腰椎融合术治疗腰椎退变性疾病的疗效比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志，2023，33(6)：530-536. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.06.07.

［27］ Jung J, Park M K, Park Y J, et al. Reduction-first technique of unilateral biportal endoscopy lumbar interbody fusion for spondylolisthesis[J]. World Neurosurg, 2025, 198: 124005. DOI: 10.1016/j.wneu.2025.124005.

［28］ Han H, Song Y, Li Y, et al. Short-term clinical efficacy and safety of unilateral biportal endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 656. DOI: 10.1186/s13018-023-04138-0.

［**本文编辑**］　杨亚红