

2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症的临床疗效

赵晓余¹, 罗婷予¹, 丁浩斌¹, 刘华²

(西安大兴医院 1. 设备科; 2. 骨三科 陕西 西安 710082)

摘要 **目的:** 分析 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症的临床疗效。**方法:** 回顾性分析 2020 年 1 月—2022 年 12 月西安大兴医院收治的 82 例腰椎间盘突出症患者的临床资料, 按照手术方法不同分为对照组 (40 例) 和观察组 (42 例), 对照组采用常规腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗, 观察组采用 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗。对比两组手术情况、疼痛程度、腰椎功能、腰椎稳定性及术后并发症发生情况。**结果:** 观察组手术指标优于对照组。两组术后 3 个月疼痛程度评分均低于术前 1 d, 但两组间疼痛程度评分比较差异无统计学意义。两组术后 3 个月腰椎功能评分均低于术前 1 d, 且观察组术后 3 个月腰椎功能评分低于对照组。两组术后 3 个月腰椎稳定性优于术前 1 d, 但两组间腰椎稳定性比较差异无统计学意义。观察组并发症发生率低于对照组。**结论:** 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症可恢复患者腰椎功能, 增加腰椎稳定性, 值得临床推广应用。

关键词 2D 透视引导机器人; 腰椎间盘突出椎间融合内固定手术; 腰椎间盘突出症; 腰椎功能; 腰椎稳定性

中图分类号 R681.5 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 05-0796-07

Clinical efficacy of 2D fluoroscopy-guided robot-assisted lumbar discectomy with interbody fusion and internal fixation for lumbar disc protrusion

ZHAO Xiaoyu¹, LUO Tingyu¹, DING Haobin¹, LIU Hua²

(1. Department of Equipment; 2. No.3 Department of Orthopaedics, Xi'an Daxing Hospital, Xi'an 710082, China)

Abstract **Objective:** To analyze the clinical efficacy of 2D fluoroscopy-guided robot-assisted lumbar discectomy with interbody fusion and internal fixation for lumbar disc protrusion. **Methods:** Clinical data of 82 patients with lumbar disc protrusion who were admitted to Xi'an Daxing Hospital from January 2020 to December 2022 were retrospectively analyzed. They were divided into the control group ($n=40$) and the observation group ($n=42$) according to the different surgical methods. The control group was treated with conventional lumbar discectomy combining with interbody fusion and internal fixation, and the observation group was given 2D fluoroscopy-guided robot-assisted lumbar discectomy with interbody fusion and internal fixation. Surgical conditions, pain level, function of lumbar vertebrae, stability of lumbar vertebrae, and postoperative complications were compared between the two groups of patients. **Results:** The surgical indicators of patients in the observation group were better than those in the control group. The pain scores of patients in the two groups 3 months after surgery were lower than those 1 d before surgery, but the difference in pain scores of the two groups was not statistically significant. The scores on the function of lumbar vertebrae 3 months after surgery in the two groups were lower than those 1 d before surgery, and it was lower in the

收稿日期: 2024-04-07 录用日期: 2024-04-26

Received Date: 2024-04-07 Accepted Date: 2024-04-26

基金项目: 陕西省重点研发计划项目 (2020ZDLSF03-06)

Foundation Item: Key R&D Plan Project of Shaanxi Province(2020ZDLSF03-06)

通讯作者: 刘华, Email: liuhuawjh777@sina.com

Corresponding Author: LIU Hua, Email: liuhuawjh777@sina.com

引用格式: 赵晓余, 罗婷予, 丁浩斌, 等. 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症的临床疗效 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (5): 796-802.

Citation: ZHAO X Y, LUO T Y, DING H B, et al. Clinical efficacy of 2D fluoroscopy-guided robot-assisted lumbar discectomy with interbody fusion and internal fixation for lumbar disc protrusion [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(5): 796-802.

observation group than that in the control group 3 months after surgery. The stability of lumbar vertebrae at 3 months after surgery was better than that 1 d before surgery in the two groups, but the difference in the stability of lumbar vertebrae in the two groups 3 months after surgery was not statistically significant. The complication rate of the observation group was lower than that of the control group. **Conclusion:** 2D fluoroscopy-guided robot-assisted lumbar discectomy with interbody fusion and internal fixation for lumbar disc protrusion can restore patients' function of lumbar vertebrae and improve the stability of lumbar vertebrae, which is worthy of clinical promotion and application.

Key words 2D Fluoroscopy-guided Robot; Lumbar Disc Removal with Interbody Fusion and Internal Fixation; Lumbar Disc Protrusion; Function of Lumbar Vertebrae; Stability of Lumbar Vertebrae

近年来,随着人们生活方式的改变,腰椎间盘突出症发病率逐年上升,且呈年轻化,严重影响患者的身心健康及生活质量^[1-2]。该病的主要临床症状包括对应神经支配区发生皮肤感觉障碍、腰腿部疼痛、腰部活动受限等,甚至可能出现坐骨神经放射性疼痛^[3]。常规开放椎间融合手术仍是治疗腰椎间盘突出症的主要术式,但由于手术具有较大的创伤,且术中出血较多,术后恢复时间长,远期可能导致患者出现腰椎不稳、医源性腰痛、椎旁肌创伤性黏连及萎缩等,降低患者的满意度。随着手术技术的不断更新,腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术成为治疗该病的常用手术方式,能够有效缓解患者临床症状,安全性较高,但部分患者术后会伴随疼痛,不利于预后。随着医疗技术的进步,2D 透视引导机器人被应用于手术中,具有视野清晰直接、可重复执行任务、耐疲劳等优势^[4]。但关于 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症的研究甚少。基于此,本研究观察 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症的临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2020 年 1 月—2022 年 12 月西安大兴医院收治的 82 例腰椎间盘突出症患者的临床资料,按照手术方法分为对照组(40 例)和观察组(42 例)。纳入标准:①存在明显的腰腿痛,并通过 MRI 或 CT 明确诊断为腰椎间盘突出症者;②单节段腰椎间盘突出者;③年龄>18 岁者;④经保守治疗无效者;⑤神经压迫明显者;⑥具有外科手术适应症者;⑦根据日本骨科协会(Japanese Orthopaedic

Association, JOA)制定的“下腰痛”临床症状评分评估为中度及重度^[5]者;⑧临床资料完整者;⑨签订知情同意书者。排除标准:①合并恶性肿瘤及脏器功能障碍者;②伴有滑脱等腰部其他疾病者;③存在马尾综合征患者;④存在精神障碍者;⑤既往存在腰椎手术病史者;⑥重度骨质疏松或严重脊柱畸形者。两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性(见表 1)。本研究经西安大兴医院医学伦理委员会批准。

1.2 方法 两组患者均由同一名经验丰富的主刀医生完成手术操作。对照组给予常规腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术治疗,患者取俯卧位,术区常规消毒,手术节段采用 C 形臂 X 光机下透视定位,采用 1% 利多卡因浸润麻醉,根据责任椎间盘平面做腰背部正中切口约 7 mm,软组织扩张套筒沿导丝扩张组织,将椎间孔扩大后植入工作套管连接椎间孔镜,观察病变组织,摘除异常的髓核组织,对神经根进行探查并松懈,冲洗、止血,常规缝合切口。

观察组给予 2D 透视引导下机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术治疗,具体内容如下。①术前规划:患者需完善术前影像学检查,通过 X 线明确脊柱稳定性,通过 CT 确定骨质增生程度、椎间孔大小及形态,通过 MRI 检查髓核突出部位(如图 1),并设计穿刺靶点及穿刺路径等。②术前准备:连接德国西门子的 2D Orbioc 型手术机器人及透视设备,采用 2D 模式观察手术节段,将资料传输到计算机。③手术操作:a. 根据术前规划的手术靶点,采用 2D 透视引导机器人神经穿刺路径及穿刺针尖落点,确定体表穿刺点,患者气管插管充分麻醉后,做 7~10 mm 切口;b. 套入尖齿套筒,置入

表 1 两组患者一般资料比较 [$\bar{x} \pm s$, n (%)]Table 1 Comparison of general data between the two groups of patients [$\bar{x} \pm s$, n (%)]

组别	观察组 ($n=40$)	对照组 ($n=42$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	49.36 ± 12.87	49.09 ± 13.02	-0.094	0.925
性别			0.076	0.783
男	25 (62.50)	25 (59.52)	—	—
女	15 (37.50)	17 (40.48)	—	—
BMI (kg/m^2)	21.92 ± 3.11	21.88 ± 3.08	-0.059	0.954
病程 (年)	2.83 ± 0.32	2.71 ± 0.37	-1.567	0.121
突出节段			0.161	0.923
L3~L4 段	17 (42.50)	19 (45.24)	—	—
L4~L5 段	16 (40.00)	15 (35.71)	—	—
L5~S1 段	7 (17.50)	8 (19.05)	—	—
严重程度			0.042	0.838
中度 (10~20 分)	21 (52.50)	23 (54.76)	—	—
重度 (<10 分)	19 (47.50)	19 (45.24)	—	—

椎间孔镜，射频电极止血，轻推开神经根及硬膜囊，开窗部位确定在后纵韧带及纤维环，镜下摘除异常的髓核组织及椎管内突出部分，置入射频电极盘后行多点消融，开窗口行纤维环成型，若黄韧带增厚则剔除，松解神经根，确定充分减压；c. 以 L4~L5 突出为例，撑开椎间隙，挖除椎体终板软骨，行椎间融合器试模，拔除试模后通过植骨通道植入 5 mL 自体骨 + 同种异体骨混合颗粒，同时植入 1 枚 10 mm × 22 mm 的 Peek 融合器，调整融合器位置，清理椎骨内残留骨块，同时观察硬脊膜是否完整，神经根是否完整、松弛；d. 在 2D 模式模型下定位责任椎体并标记（如图 2），规划进针轨迹，依次经 L4~L5 椎弓根置入导丝，将测量好的 L4、L5（6.5 mm × 45.0 mm）椎弓根螺钉拧入，在理想位置安装后，将 60 mm 连接棒安装在两侧椎弓根，固定 L5 螺钉尾帽，将椎体复位满意后拧紧螺钉尾帽，待椎弓根螺钉位于对应的椎体及椎弓根内，且放置融合器部位满意后（如图 3），断钉尾冲洗切口，观察有无活动性出血等，退出椎间孔镜及通道，常规缝合切口。④术后处理：术后第 2 d，可佩戴硬腰围下床散步并开始康复训练（以下肢肌群及腰背部核心肌肉群为主），术后 1 个月避免弯腰负重及剧烈运动，

定期复查（如图 4）。

1.4 观察指标 ①比较两组手术情况：包括手

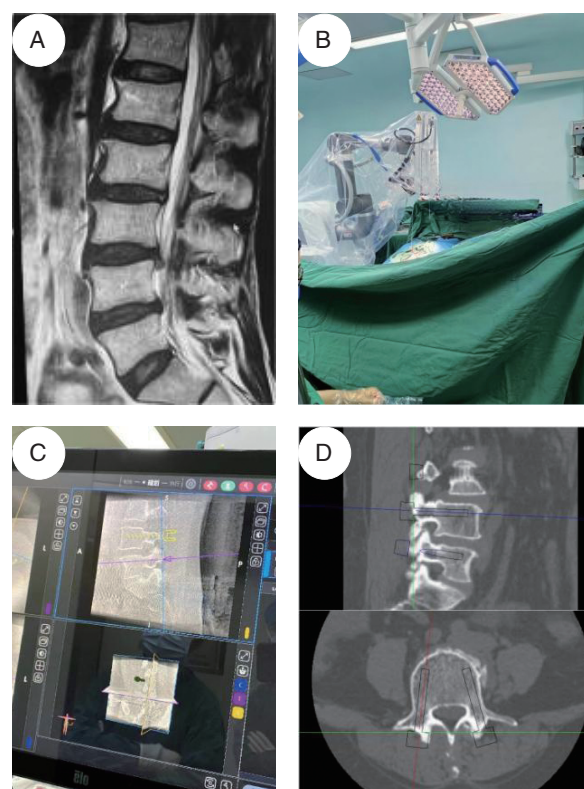


图 1 术前影像学检查

Figure 1 Preoperative imaging results

A. 核磁示 L3~L4 及 L4~L5 椎间盘突出；B. 术前机器人注册定位；C~D. 检测椎弓根位置及操作植入时角度和深度

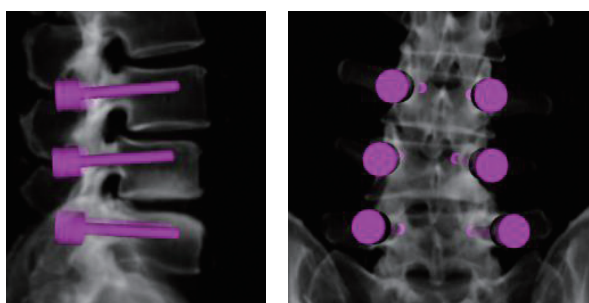


图2 模拟置入位置

Figure 2 Analog placement position

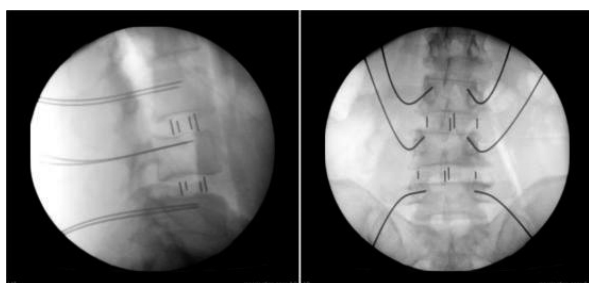


图3 C型臂检查融合器及椎弓根置入结果

Figure 3 C-arm examination results on fusion device and pedicle placement

术切口（所有切口的总长度）、术中出血量、手术时间、术中透视次数、术后引流量。②比较术前1 d、术后3个月两组疼痛程度：采用视觉模拟评分（Visual Analogue Scale, VAS）^[6]评估，评分为0~10分，疼痛程度与得分呈正比。③比较术前1 d、术后3个月两组腰椎功能：采用 Oswestry 功能障碍指数问卷表（Oswestry

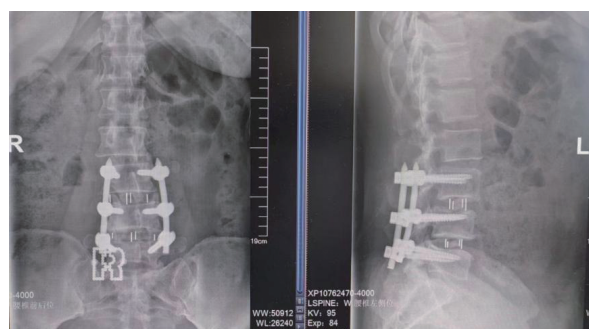


图4 术后影像结果

Figure 4 Postoperative imaging results

Disability Index, ODI)^[7]评估，量表包括10个条目，每个条目0~5分，总分50分，腰椎功能与得分呈正比。④比较术前1 d、术后3个月两组腰椎稳定性：采用东芝1.5 T超导磁共振扫描仪测量颌眉角、矢状面平衡、腰椎后凸角、胸椎后凸角。⑤术后并发症发生情况：术后随访3个月，记录患者出现的伤口感染、腰椎僵硬、站立困难等并发症的发生情况。

1.5 统计学方法 研究数据采用SPSS 22.0分析，计量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$)表示，进行 t 检验，计数资料采用例数(百分比)[$n(\%)$]表示，进行 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术情况 观察组手术切口、手术时间短于对照组，术中出血量、术中透视次数、术后引流量少于对照组，差异有统计学意义($P < 0.05$)，见表2。

2.2 疼痛程度 两组患者术后3个月疼痛程度评分均低于术前1 d，差异有统计学意义($P < 0.05$)，但手术前后两组患者疼痛程度评分比较，差异无统计学意义($P > 0.05$)，见表3。

表2 两组患者手术指标比较 ($\bar{x} \pm s$)Table 2 Comparison of surgical indicators between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	手术切口 (cm)	术中出血量 (mL)	手术时间 (min)	术中透视次数 (次)	术后引流量 (mL)
观察组 ($n=40$)	2.81 ± 0.34	170.29 ± 20.91	191.98 ± 16.09	8.76 ± 1.87	70.87 ± 10.92
对照组 ($n=42$)	6.04 ± 0.32	202.65 ± 19.76	209.87 ± 17.27	15.87 ± 1.93	86.93 ± 11.04
t 值	43.753	7.114	4.794	16.733	6.451
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.3 腰椎功能 两组患者术后3个月腰椎功能评分均低于术前1 d, 且观察组术后3个月腰椎功能评分低于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 见表4。

2.4 腰椎稳定性 两组患者术后3个月腰椎稳定性优于术前1 d, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 但手术前后两组患者腰椎稳定性比较, 差异无

统计学意义 ($P>0.05$), 见表5。

2.5 术后并发症 观察组并发症发生率与对照组相比显著降低, 差异有统计学意义 ($P<0.05$), 见表6。

3 讨论

腰椎间盘突出症的病理特征为纤维环破裂、

表3 两组患者疼痛程度评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

Table 3 Comparison of pain scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$, score)

组别	术前1 d	术后3个月	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
观察组 ($n=40$)	6.27 ± 0.23	1.18 ± 0.19	107.908	<0.001
对照组 ($n=42$)	6.21 ± 0.25	1.23 ± 0.17	104.18	<0.001
<i>t</i> 值	1.117	1.257	—	—
<i>P</i> 值	0.268	0.212	—	—

表4 两组患者腰椎功能评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

Table 4 Comparison of scores on the function of lumbar vertebrae between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$, score)

组别	术前1 d	术后3个月	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
观察组 ($n=40$)	38.87 ± 4.39	12.66 ± 1.02	36.780	<0.001
对照组 ($n=42$)	38.76 ± 4.48	13.28 ± 1.07	34.987	<0.001
<i>t</i> 值	0.111	2.683	—	—
<i>P</i> 值	0.912	0.009	—	—

表5 两组患者腰椎稳定性比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Comparison of lumbar vertebral stability between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	颌眉角 (°)		矢状面平衡 (cm)		腰椎后凸角 (°)		胸椎后凸角 (°)	
	术前1 d	术后3个月	术前1 d	术后3个月	术前1 d	术后3个月	术前1 d	术后3个月
观察组 ($n=40$)	63.49 ± 3.18	12.67 ± 2.18 ^a	36.91 ± 3.02	12.78 ± 2.87 ^a	15.02 ± 3.18	25.09 ± 3.76 ^a	35.01 ± 3.29	2.09 ± 0.24 ^a
对照组 ($n=42$)	63.76 ± 2.31	13.29 ± 2.06 ^a	36.87 ± 3.17	13.47 ± 2.91 ^a	14.98 ± 3.11	24.78 ± 3.83 ^a	34.93 ± 3.38	2.18 ± 0.21 ^a
<i>t</i> 值	0.434	1.324	0.058	1.080	0.057	0.370	0.107	1.809
<i>P</i> 值	0.665	0.189	0.954	0.283	0.955	0.712	0.915	0.074

注: 与术前比较, ^a $P<0.05$

表6 两组患者并发症发生情况比较 [n (%)]

Table 6 Comparison of the occurrence of complications between the two groups of patients [n (%)]

组别	伤口感染	腰椎僵硬	站立困难	肢体麻木	椎间盘摘除不净	合计
观察组 ($n=40$)	0 (0.00)	1 (2.50)	0 (0.00)	1 (2.50)	0 (0.00)	2 (5.00)
对照组 ($n=42$)	2 (4.76)	2 (4.76)	3 (7.14)	2 (4.76)	1 (2.38)	10 (23.81)
χ^2 值	—	—	—	—	—	75.329
<i>P</i> 值	—	—	—	—	—	<0.001

椎间盘变性、髓核突出压迫神经根等，可诱发腰腿痛、麻木甚至导致肌肉萎缩^[8-9]。目前常采用硬膜外皮质激素、非甾体抗炎药物、止痛药等进行治疗，能够缓解患者疼痛程度，但部分患者停药易复发或无效，可采取手术治疗^[10-11]。手术能够有效解除被压迫的脊髓神经根，恢复脊柱的稳定性及椎间隙原有的高度，从而缓解临床症状。随着常规腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术的推广，临床医生发现该术式术后会导致相邻节段退变，包括椎间盘退变、椎间狭窄等^[12]。有资料指出^[13]，腰椎间盘摘除椎间融合内固定术后 5 年相邻节段退变的发生率高达 30%。因此，应积极采用行之有效的方法治疗腰椎间盘突出，以改善患者临床症状，避免相邻节段出现退变。

近年来，随着计算机导航技术、机器人及相关配套设备的不断发展，机器人辅助手术在脊柱外科手术中得到了广泛关注，其高精度、高稳定性、可重复性、耐疲劳、创伤小等优势已被国内外多项研究证实，符合微创外科的需求和加速康复外科的理念^[14-17]。2D 透视引导机器人能够提高置入物准确性，同时具有降低辐射暴露等优势，能够提高手术的精准性，故将其嫁接入腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术^[18]。本研究结果显示，观察组手术指标优于对照组，提示 2D 透视引导机器人辅助手术治疗能够有效改善腰椎间盘突出症患者手术情况。国外学者也证实了 CT 引导下机器人导航^[19]、超声导航^[20]、Hello 定位器^[21]等方法，能够减少术中穿透次数等，改善手术情况，有利于改善患者预后水平。与 Hello 定位器^[21][(14.03 ± 2.54) 次]和 CT 扫描引导下机器人导航[(21.33 ± 3.89) 次]的术中透视次数相比^[19]，本研究观察组的术中透视次数[(8.76 ± 1.87) 次]更低，可能是由于 2D 引导在常规正侧位透视下能够得到穿刺路径及相关信息，手术医生仅需沿刚性穿刺通道插入导针即可，从而减少术中透视次数，减少辐射暴露和医源性损伤。

本研究结果显示，两组患者术后 3 个月疼痛程度评分均低于术前 1 d，但手术前后两组患

者疼痛程度评分比较差异无统计学意义，提示 2D 透视引导机器人辅助治疗能够有效降低腰椎间盘突出症患者疼痛程度，且不会增加术后疼痛，这与郑山等人^[22]研究结果一致。可能是由于 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术切口采用可扩张套管逐层置入，对肌肉损伤程度较轻，术中手术医生借助机器人操作，能够排除手部生理震颤对手术结果的影响，从而能够缓解患者术后疼痛程度。本研究结果显示，两组患者术后 3 个月腰椎功能评分均低于术前 1 d，且观察组术后 3 个月腰椎功能评分低于对照组，提示 2D 透视引导机器人辅助手术治疗能够有效降低腰椎间盘突出症患者术后腰椎功能评分，恢复腰椎功能，这与陈豪杰等人^[23]的研究结果一致。原因可能是，2D 透视引导机器人辅助手术可显著提高椎弓根螺钉的置入精准度，能够帮助手术医生精准进行手术操作，在确保手术安全性的同时减少对周围组织的损伤，能够促使脊柱力学恢复正常生理状态，充分发挥机器人辅助手术的准确性，且不受患者体位限制，术后对应给予康复指导，帮助患者进行针对性的功能锻炼，能够进一步加快椎体和组织恢复，逐渐恢复腰椎功能。

本研究结果显示，两组患者术后 3 个月腰椎稳定性优于术前 1 d，但手术前后两组患者腰椎稳定性比较差异无统计学意义，提示 2D 透视引导机器人辅助手术治疗能够有效调整腰椎间盘突出症患者术后颌眉角、矢状面平衡、胸椎后凸角、腰椎后凸角，恢复腰椎稳定性。究其原因，2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术在操作过程中对椎体完整性及椎旁肌肉损伤程度较小，不会影响脊柱稳定性，但由于远期肌肉、韧带粘连，术后 3 个月患者腰椎稳定性区别不大。本研究结果显示，观察组并发症发生率低于对照组，提示 2D 透视引导机器人辅助手术治疗能够有效减少腰椎间盘突出症患者术后并发症发生。这可能是由于 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘摘除椎间融合内固定手术在手术操作过程中允许规划穿刺轨迹，确保手术组件精准直达病灶，能够彻底清除髓核，

避免残留,同时不会损伤其他组织,安全性较高。同时,该术式中采用微创通道减压,微创通道直接放置于关节突部分,不会牵拉伤口至关节突,能够减少伤口的张力,从而降低感染的风险。另外,由于止血纱布的使用会增加感染的风险,而该术式能够减少术中出血量,减少术中使用止血纱布。因此,2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术能在一定程度上减少感染的发生。本研究观察组术后 7 d 内出现 2 例患者感染,1 例患者肥胖,可能是由于皮下脂肪液化坏死导致;1 例患者合并糖尿病,可能与血糖控制不佳相关。

综上所述,2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术治疗腰椎间盘突出症可恢复患者腰椎功能,增加腰椎稳定性,值得临床推广应用。但本研究纳入样本量有限,后期应扩大样本量进一步研究证实。目前,2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术对手术医生的要求较高,需要详细的术前规划、丰富的解剖知识、熟练的手术操作技巧,并掌握手术禁忌证及适应证,才能保障患者的安全及术后效果,减少不良反应的发生。同时机器人手术系统价格昂贵,需要增加额外的培训以熟悉设备,会增加患者的医疗成本。另外,如何有效提高患者的满意度,尽可能简化手术步骤,缩短手术时间,也成为 2D 透视引导机器人辅助腰椎间盘突出椎间融合内固定手术的另一个发展方向。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 赵晓余、罗婷予负责设计论文框架,起草论文;赵晓余、罗婷予、丁浩斌负责实验操作,研究过程的实施;罗婷予、丁浩斌负责数据收集,统计学分析,绘制图表;赵晓余、丁浩斌负责论文修改;赵晓余负责拟定写作思路,指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] Zhang A S, Xu A, Ansari K, et al. Lumbar disc herniation: diagnosis and management[J]. *Am J Med*, 2023, 136(7): 645–651.
- [2] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会基础研究及转化学组. 腰椎间盘突出症诊治与康复管理指南[J]. *中华外科杂志*, 2022, 60(5): 401–408.
- [3] Taşpınar G, Angın E, Oksüz S. The effects of Pilates on pain, functionality, quality of life, flexibility and endurance in lumbar disc herniation[J]. *J Comp Eff Res*, 2023, 12(1): 220–244.
- [4] ZHENG H D, SUN Y L, KONG D W, et al. Deep learning-based high-accuracy quantitation for lumbar intervertebral disc degeneration from MRI[J]. *Nat Commun*, 2022, 13(1): 841.
- [5] 孙兵, 车晓明. 日本骨科协会评估治疗 (JOA 评分) [J]. *中华神经外科杂志*, 2012, 28(6): 623.
- [6] Shafshak T S, Elnemr R. The visual analogue scale versus numerical rating scale in measuring pain severity and predicting disability in low back pain[J]. *J Clin Rheumatol*, 2021, 27(7): 282–285.
- [7] Chiarotto A, Maxwell L J, Terwee C B, et al. Roland-morris disability questionnaire and Oswestry disability index: Which has better measurement properties for measuring physical functioning in nonspecific low back pain? Systematic review and Meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2016, 96(10): 1620–1637.
- [8] Hornung A L, Baker J D, Mallow G M, et al. Resorption of lumbar disk herniation: mechanisms, clinical predictors, and future directions[J]. *JBJS Rev*, 2023, 11(1): 87.
- [9] Koksai A, Ayyildiz V, Ogul H, et al. Spontaneous resolution of lumbar disc herniation[J]. *Med Clin(Bare)*, 2023, 161(2): 93.
- [10] Chu E C P, Wong A Y L. Chronic orchialgia stemming from lumbar disc herniation: a case report and brief review[J]. *Am J Mens Health*, 2021, 15(3): 155–158.
- [11] Shen S C, Chen H C, Tsou H K, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L5–S1 disc herniation based on image analysis and clinical findings: a retrospective review of 345 cases[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2023, 102(5): 328–339.
- [12] JIANG H W, CHEN C D, ZHAN B S, et al. Unilateral biportal endoscopic discectomy versus percutaneous endoscopic lumbar discectomy in the treatment of lumbar disc herniation: a retrospective study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17(1): 30–45.
- [13] Dandurand C, Mashayekhi M S, McIntosh G, et al. Cost consequence analysis of waiting for lumbar disc herniation surgery[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 4519–4534.
- [14] Williamson T, Song S E. Robotic surgery techniques to improve traditional laparoscopy[J]. *JSLs*, 2022, 26(2): 2022–2031.
- [15] Tameze Y, Low Y H. Outpatient robotic surgery: considerations for the anesthesiologist[J]. *Adv Anesth*, 2022, 40(1): 15–32.
- [16] Wang R S, Ambani S N. Robotic surgery training: current trends and future directions[J]. *Urol Clin North Am*, 2021, 48(1): 137–146.
- [17] Wong S W, Crowe P. Visualisation ergonomics and robotic surgery[J]. *J Robot Surg*, 2023, 17(5): 1873–1878.
- [18] 杨蕙铭, 韩丹, 段小超, 等. 2D 透视引导机器人辅助 TESSYS 手术治疗腰椎间盘突出症[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42(1): 9–17.
- [19] JIN M R, LEI L Y, LI F Q, et al. Does robot navigation and intraoperative computed tomography guidance help with percutaneous endoscopic lumbar discectomy? A Match-paired study[J]. *World Neurosurg*, 2021, 14(7): 459–467.
- [20] ZHANG M B, YAN L T, LI S P, et al. Ultrasound-guided transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a new guidance method that reduces radiation doses[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(11): 2543–2550.
- [21] FAN G X, GUAN X F, ZHANG H L, et al. Significant improvement of puncture accuracy and fluoroscopy reduction in percutaneous transforaminal endoscopic discectomy with novel lumbar location system: Preliminary report of prospective Hello study[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2015, 94(49): 21–29.
- [22] 郑山, 王博, 韩振川, 等. 机器人辅助经椎间孔入路脊柱内窥镜手术治疗单节段腰椎间盘突出症[J]. *脊柱外科杂志*, 2023, 21(04): 224–229.
- [23] 陈豪杰, 黄小强, 高林, 等. 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[J]. *中国骨伤*, 2022, 35(2): 101–107.

编辑: 张笑嫣