

临床研究

论 著

动力磨钻辅助椎间孔镜治疗钙化型腰椎间盘突出症的疗效及对术后脊柱生物力学稳定性的影响

王彬彬¹, 朱旭瑶^{2*}¹黑龙江省牡丹江林业中心医院骨外科, 黑龙江牡丹江 157000; ²牡丹江医科大学附属第二医院影像科, 黑龙江牡丹江 157000

[中图分类号] R681.5+7 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.1135.2026.0130

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 王彬彬, 朱旭瑶. 动力磨钻辅助椎间孔镜治疗钙化型腰椎间盘突出症的疗效及对术后脊柱生物力学稳定性的影响[J]. 解放军医学杂志, 2026, 51(5): 704-710.

[收稿日期] 2025-06-09 [录用日期] 2025-10-14 [上线日期] 2026-01-30

[摘要] **目的** 探究动力磨钻辅助椎间孔镜治疗钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)的疗效及对术后脊柱生物力学稳定性的影响。**方法** 本研究为回顾性病例对照研究。收集2022年1月—2025年1月黑龙江省牡丹江林业中心医院骨外科收治的92例CLDH患者为研究对象, 按照治疗方法不同分为观察组(术中采用动力磨钻辅助椎间孔镜技术, $n=45$)与对照组(术中采用传统椎间孔镜技术, $n=47$), 采用倾向性评分匹配法(PSM)对两组患者的基线资料进行匹配, 卡钳值选择0.02, 匹配度1:1, 共匹配成功40对。比较两组临床资料、临床疗效、治疗前后影像学指标、脊柱活动范围(ROM)、髋关节ROM及治疗前后视觉模拟评分法(VAS)评分、日本骨科协会评估治疗(JOA)评分、功能障碍指数(ODI)评分。采用双重差分模型分析两组治疗后JOA、ODI、VAS评分的变化。采用Pearson相关分析骨盆倾斜角(PT)、腰椎前凸角(LL)、骶骨倾斜角(SS)、脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM与JOA、ODI、VAS评分之间的相关性。**结果** 观察组总有效率高于对照组(92.5% vs. 75.0%, $P=0.034$)及术后钙化灶完全清除率(95.0% vs. 77.5%, $P=0.023$)和神经完全减压率(95.0% vs. 80.0%, $P=0.043$)高于对照组, 差异均有统计学意义。与治疗前比较, 治疗后两组患者JOA评分升高, ODI、VAS评分降低($P<0.05$); 与对照组比较, 观察组患者治疗后JOA评分升高, ODI、VAS评分降低($P<0.05$)。双重差分模型显示, JOA、ODI、VAS评分在组别、治疗时间、组别×治疗时间交互项中差异均有统计学意义($P<0.05$), 观察组治疗后JOA评分的升高幅度及ODI、VAS评分的降低幅度均高于对照组。与治疗前相比, 治疗后两组PT缩小, LL、SS增大, 脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM升高($P<0.05$); 与对照组相比, 观察组患者治疗后PT缩小, LL、SS增大, 脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM升高($P<0.05$)。Pearson相关分析结果显示, PT与JOA评分呈负相关, 与ODI、VAS评分呈正相关($P<0.05$); LL、SS、脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM与JOA评分呈正相关, 与ODI、VAS评分呈负相关($P<0.05$)。**结论** 动力磨钻辅助椎间孔镜技术在治疗CLDH中具有显著的临床优势, 能够有效缓解疼痛、改善功能状态、提高生活质量, 且不破坏脊柱稳定性, 值得临床推广应用。

[关键词] 钙化型腰椎间盘突出症; 脊柱生物力学稳定性; 动力磨钻; 疗效

Efficacy of powered burr-assisted percutaneous endoscopic lumbar discectomy for calcified lumbar disc herniation and its impact on postoperative spinal biomechanical stability

Wang Bin-Bin¹, Zhu Xu-Yao^{2*}¹Department of Orthopedics, Heilongjiang Mudanjiang Forestry Center Hospital, Mudanjiang, Heilongjiang 157000, China²Department of Imaging, the Second Affiliated Hospital of Mudanjiang Medical University, Mudanjiang, Heilongjiang 157000, China

*Corresponding author, E-mail: yuyang1259@163.com

[Abstract] **Objective** To investigate the clinical efficacy of powered burr-assisted percutaneous endoscopic lumbar

[作者简介] 王彬彬, 硕士研究生, 副主任医师, 主要从事脊柱外科方面的研究

[通信作者] 朱旭瑶, E-mail: yuyang1259@163.com

discectomy in the treatment of calcified lumbar disc herniation (CLDH) and its impact on postoperative spinal biomechanical stability. **Methods** This study is a retrospective case-control study. A total of 92 CLDH patients admitted to the Department of Orthopedic Surgery, Mudanjiang Forestry Center Hospital in Heilongjiang Province from January 2022 to January 2025 were collected as research subjects. According to different therapeutic methods, the patients were divided into observation group (treated with powered burr-assisted PELD, $n=45$) and control group (treated with conventional PELD, $n=47$). Propensity score matching method (PSM) was used to match the baseline data of the two groups with a caliper value of 0.02 and a 1:1 matching ratio, and 40 matched pairs were successfully obtained. The clinical data, clinical efficacy, imaging indicators before and after treatment, spinal range of motion (ROM), hip joint ROM, as well as visual analog scale (VAS) scores, Japanese Orthopaedic Association (JOA) scores, and Oswestry Disability Index (ODI) scores before and after treatment were compared between the two groups. A difference-in-differences model was used to analyze the changes in JOA, ODI, and VAS scores after treatment in the two groups. Pearson correlation analysis was employed to investigate the correlation between pelvic tilt (PT), lumbar lordosis (LL), sacral slope (SS), spinal sagittal and coronal ROM, hip joint sagittal and coronal ROM, and coronal ROM with JOA, ODI, and VAS scores. **Results** The total effective rate (92.5% vs. 75.0%, $P=0.034$), the complete clearance rate of calcified lesions (95.0% vs. 77.5%, $P=0.023$), and the complete nerve decompression rate (95.0% vs. 80.0%, $P=0.043$) in observation group were significantly higher than those in control group after surgery. Compared with those before treatment, the JOA scores were significantly increased, while ODI and VAS scores were significantly decreased in both groups after treatment ($P<0.05$). Compared with control group, observation group had significantly higher JOA scores and significantly lower ODI and VAS scores after treatment ($P<0.05$). The difference-in-differences model showed that there were statistically significant differences in JOA, ODI, and VAS scores for the group factor, treatment time factor, and group $\times$ treatment time interaction term ($P<0.05$). The increased amplitude of JOA score and the decreased amplitudes of ODI and VAS scores in observation group were significantly higher than those in control group after treatment. Compared with preoperative values, both groups showed decreased PT, increased LL and SS, and increased spinal and hip joint sagittal and coronal ROM after treatment ($P<0.05$). Compared with control group after treatment, observation group exhibited significantly decreased PT, increased LL and SS, and greater increases in spinal and hip joint sagittal and coronal ROM after treatment ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that PT was negatively correlated with JOA score, and positively correlated with ODI and VAS scores ($P<0.05$). LL, SS, spinal sagittal ROM and coronal ROM, and hip joint sagittal ROM and coronal ROM were positively correlated with JOA score, and negatively correlated with ODI and VAS scores ($P<0.05$). **Conclusion** Powered burr-assisted percutaneous endoscopic lumbar discectomy has significant clinical advantages in the treatment of CLDH, which can effectively alleviate pain, improve functional status, and enhance quality of life without compromising spinal stability, thus being worthy of clinical promotion and application.

[Key words] calcified lumbar disc herniation; spinal biomechanical stability; powered burr; clinical efficacy

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)作为退行性脊柱病变的典型代表,在骨科临床实践中具有显著的流行病学意义,严重影响患者的生活质量和工作能力^[1-3]。在此背景下,钙化型腰椎间盘突出症(calcified lumbar disc herniation, CLDH)作为LDH的一种特殊亚型,其病理特征为椎间盘组织发生钙盐沉积及硬化,进而对神经根或硬膜囊造成持续性压迫,临床表现为剧烈腰腿痛、感觉障碍及运动功能受限,治疗难度明显高于非钙化型LDH^[4-6]。目前,国内外针对CLDH的外科干预仍存在诸多挑战。传统开放手术虽可直视下切除钙化灶,但创伤大、恢复周期长,且对脊柱稳定性破坏较为显著^[7]。而常规微创经皮椎间孔镜技术具有组织损伤小、术后恢复快等优点,已成为治疗普通LDH的常用手段^[8-10],但在处理质地坚硬、与周围神经血管粘连紧密的钙化组织时,常因器械局限导致操作难度大、切除不彻底,且易引起神经损伤、钙化残留及术后早期复发等问题^[11-12]。为克服上述局限,动力磨钻

系统辅助下的椎间孔镜技术逐渐被引入临床,该技术通过高速旋转的磨钻头实现对钙化组织的精准切削,可显著提高切除效率与安全性,然而,其对术后脊柱生物力学稳定性的影响尚缺乏系统评估。脊柱生物力学稳定性是评价手术成功及患者远期生活质量的关键指标。尽管椎间孔镜技术最大程度保留了脊柱骨性结构,理论上对生物力学干扰较小,但CLDH中钙化灶引起的局部应力变化及手术中对钙化组织的切除方式仍可能潜在影响术后稳定性^[13]。为此,本研究系统评估动力磨钻辅助椎间孔镜治疗CLDH的临床疗效,并重点分析其对术后脊柱生物力学稳定性的影响,以期CLDH的微创治疗提供循证依据与技术优化方向。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为回顾性病例对照研究。收集2022年1月—2025年1月黑龙江省牡丹江林业中心医院骨外科收治的92例CLDH患者为研究对象,

其中男50例,女42例,年龄38~65(48.0 ± 6.0)岁。纳入标准:(1)经影像学检查(MRI、CT)确诊为单节段CLDH;(2)存在显著的腰部及下肢疼痛临床表现,且经规范保守干预未获预期疗效;(3)临床资料完整。排除标准:(1)合并严重脊柱畸形、肿瘤或感染;(2)既往有腰椎手术史;(3)精神疾病;(4)妊娠期;(5)伴有严重神经功能障碍;(6)合并严重心、肺、肝、肾功能不全。将92例患者按照治疗方法不同分为观察组(术中采用动力磨钻辅助椎间孔镜技术, $n=45$)与对照组(术中采用传统椎间孔镜技术, $n=47$)。为控制基线混杂偏倚,采用倾向性评分匹配法(propensity score matching, PSM)对两组患者进行1:1匹配。以年龄、性别、体重指数(body mass index, BMI)、病程、吸烟史、饮酒史、高血压史、糖尿病史、高血脂史、LDH分期及LDH分型作为协变量,通过logistic回归模型计算倾向性评分。卡钳值设定为0.02,该值为倾向性评分标准差的0.2倍,是广泛采用的平衡匹配精度与样本保留率的经验值,可有效避免劣质匹配并确保匹配后组间可比性。共匹配成功40对。本研究获黑龙江省牡丹江林业中心医院医学伦理委员会审批(20220116)。

1.2 研究方法

1.2.1 临床资料收集 收集研究对象的性别、年龄、BMI、高血压史、糖尿病史、高血脂史、LDH分期和LDH分型等临床资料。

1.2.2 治疗方法 对照组采用传统椎间孔镜技术。患者取侧卧位,局部麻醉下经椎间孔入路,置入工作通道,在内镜直视下使用髓核钳和射频刀头切除突出的椎间盘组织,处理钙化病灶时采用手动刮匙。观察组采用动力磨钻辅助椎间孔镜技术。手术入路及麻醉方式同对照组,在内镜直视下使用高速动力磨钻精确切除钙化组织,随后使用髓核钳和射频刀头清理残余椎间盘组织。

1.2.3 临床疗效评估 治疗后3个月评估,临床疗效分级标准具体如下:痊愈,主要症状及阳性体征完全消退,职业功能恢复至病前水平;显效,核心症状及体征明显减轻,日常工作能力基本恢复;有效,临床症状呈现好转趋势,可承担轻量工作;无效,症状学及体征学指标未见明显变化,劳动能力持续受限。总有效率(%)=(痊愈+显效+有效)例数/总例数 $\times 100\%$ 。

1.3 观察指标 (1)治疗前后,采用日本骨科协会评估治疗(Japanese Orthopaedic Association scores, JOA评分)评估患者下腰痛状况,评分范围包括日常活动受限程度、主观症状、临床体征3个项目,共29分,分数与腰痛损伤程度呈反比;采用腰椎功能障碍指数(oswestry disability index, ODI)评估患者腰椎功能,

包括疼痛程度、提物、站立等10项内容,总分100分,分数与腰椎功能呈反比;采用视觉模拟评分法(visual analog scale, VAS)评估患者腰腿疼痛状况,总分10分,分数与疼痛程度呈正比。(2)治疗前后腰椎CT平扫及MRI检查。采用影像学评分系统量化钙化特征:①钙化范围评分。在腰椎CT轴位图像上测量钙化灶最大横截面积, $\leq 50\text{mm}^2$ 为1分,51~100 mm^2 为2分, $>100\text{mm}^2$ 为3分。②钙化硬度评分。根据CT值(HU)评估,500~800 HU为1分(中等硬度),801~1000 HU为2分(高硬度), $>1000\text{HU}$ 为3分(极高硬度)。③神经压迫程度评分。在MRI T_2 加权像上采用Schizas分级。术后影像学评估包括:①钙化灶清除率。由两位具有副主任医师及以上职称的脊柱外科医师采用盲法评估,计算钙化组织清除百分比($>90\%$ 为完全清除,70%~90%为部分清除, $<70\%$ 为清除不足)。②神经减压充分性。观察硬膜囊和神经根形态恢复情况。(3)通过站立位X线片测量患者治疗前后的腰椎前凸角(lumbar lordosis, LL)、骨盆入射角(pelvic incidence, PI)、骨盆倾斜角(pelvic tilt, PT)和骶骨倾斜角(sacral slope, SS),以评估术后脊柱-骨盆稳定性。(4)治疗前后,采用德国Zebris CMS-HS型三维脊柱运动分析系统测量患者脊柱矢状面、冠状面活动范围(range of motion, ROM)及髋关节矢状面、冠状面ROM。所有测量均由同一名经过专业培训的脊柱外科医师完成,该医师不参与分组及手术治疗。正式测量前,对仪器进行校准,并向患者详细说明测试流程以确保动作标准。每位患者重复测量3次,取平均值作为最终结果,以减小随机误差。该检测系统具有良好的信效度,其角度测量误差控制在 $\pm 0.5^\circ$ 以内,组内相关系数 >0.85 ,保证了数据的可靠性与可重复性。(5)记录并分类两组患者在术中及术后住院期间发生的并发症,包括硬膜撕裂(术中硬脊膜意外损伤,伴脑脊液漏)、神经根刺激症状(术后出现一过性神经根支配区疼痛或麻木)、肢体感觉迟钝(术后出现持续性感觉减退)、感染(手术部位浅表或深部感染)、血肿形成(术后影像学确认的椎管内或椎旁血肿)、血管损伤(术中或术后出血需输血或再次手术)及其他(如器械断裂、定位错误等)。所有并发症均由未参与手术的脊柱外科医师根据术中记录、术后临床表现及影像学资料进行判定并记录。本组患者中,实际发生的并发症仅为硬膜撕裂、神经根刺激症状及肢体感觉迟钝;未发生感染、血肿、血管损伤等并发症。

1.4 统计学处理 采用SPSS 22.0软件进行统计分析。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切概率法(如期望频数 <5);符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,两组间比较采用 t 检验,组内

多时间点比较采用重复测量的方差分析，并进行Mauchly球形检验，若不符合球形假设则采用Greenhouse-Geisser校正；不符合正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示，两组间比较采用Mann-Whitney U 检验，组内多时间点比较采用Friedman检验或Wilcoxon符号秩检验。为控制混杂因素并评估干预效果，建立双重差分模型，采用Stata 14.0软件中diff命令进行模型拟合与评估。采用Pearson相关分析对连续变量进行相关性检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组临床资料比较 匹配前，观察组年龄高于对照组，差异有统计学意义($P=0.022$)；匹配后两组性别、年龄等临床资料差异均无统计学意义($P>0.05$ ，附表1)。

2.2 两组手术指标、并发症及临床疗效比较 观察组患者的卧床时间和住院时间均短于对照组($P<0.001$)，两组手术时间及术中出血量差异均无统计学意义($P>0.05$)。对照组术中发生硬膜撕裂2例(5.0%)，神经根刺激症状2例(5.0%)，肢体感觉迟钝1例(2.5%)；观察组发生硬膜撕裂1例(2.5%)，神经根刺激症状1例(2.5%)，两组并发症发生率差异无统计学意义(5.0% vs. 12.5%， $P>0.05$)。观察组总有效率高于对照组，差异有统计学意义(92.5% vs. 75.0%， $P=0.034$)(表1)。

2.3 两组术前、术后影像学指标比较 术前两组患

表1 两组钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)患者手术指标、并发症及临床疗效比较

Tab.1 Comparison of surgical indicators, complications, and clinical efficacy between two groups of calcified lumbar disc herniation (CLDH) patients

项目	对照组 (n=40)	观察组 (n=40)	χ^2/t	P
手术时间(min, $\bar{x}\pm s$)	61.57±10.31	60.72±9.79	0.378	0.706
卧床时间(d, $\bar{x}\pm s$)	2.96±0.24	2.07±0.14	20.259	<0.001
住院时间(d, $\bar{x}\pm s$)	6.83±1.49	5.42±0.46	5.719	<0.001
术中出血量(ml, $\bar{x}\pm s$)	6.49±1.63	6.32±0.79	0.594	0.554
并发症发生率[例(%)]	5(12.5)	2(5.0)	1.409	0.235
硬膜撕裂	2(5.0)	1(2.5)		
神经根刺激症状	2(5.0)	1(2.5)		
肢体感觉迟钝	1(2.5)	0		
总有效率[例(%)]	30(75.0)	37(92.5)	4.501	0.034
痊愈	5(12.5)	18(45.0)		
显效	7(17.5)	12(30.0)		
有效	18(45.0)	7(17.5)		
无效	10(25.0)	3(7.5)		

者在钙化范围、钙化硬度及神经压迫程度评分方面差异均无统计学意义($P>0.05$)。术后观察组钙化灶完全清除率和神经完全减压率高于对照组，差异均有统计学意义($P<0.05$)(表2)。

表2 两组钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)患者术前、术后影像学指标比较

Tab.2 Comparison of preoperative and postoperative imaging indicators between two groups of calcified lumbar disc herniation (CLDH) patients

项目	对照组 (n=40)	观察组 (n=40)	χ^2/t	P
术前				
钙化范围评分(分, $\bar{x}\pm s$)	2.15±0.73	2.08±0.81	0.406	0.686
钙化硬度评分(分, $\bar{x}\pm s$)	2.23±0.62	2.20±0.71	0.201	0.841
神经压迫程度评分(分, $\bar{x}\pm s$)	2.80±0.56	2.78±0.63	0.150	0.881
术后				
钙化灶完全清除[例(%)]	31(77.5)	38(95.0)	5.165	0.023
神经完全减压[例(%)]	32(80.0)	38(95.0)	4.114	0.043

2.4 两组腰椎功能、疼痛情况评分的双重差分模型分析 治疗前，两组患者JOA、ODI、VAS评分比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后，两组JOA评分均高于治疗前，且观察组高于对照组；两组ODI、VAS评分均低于治疗前，且观察组低于对照组，差异有统计学意义($P<0.05$)(表3)。

表3 两组钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)患者治疗前后腰椎功能、疼痛情况比较(分, $\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of lumbar spine function and pain levels between two groups of calcified lumbar disc herniation (CLDH) patients before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

项目	对照组(n=40)	观察组(n=40)	t	P
JOA评分				
治疗前	8.51±2.13	8.65±2.23	0.287	0.775
治疗后	22.02±4.45 ⁽¹⁾	28.13±6.52 ⁽¹⁾	4.895	<0.001
ODI评分				
治疗前	58.13±7.51	57.48±6.47	0.415	0.679
治疗后	24.01±5.12 ⁽¹⁾	18.95±2.71 ⁽¹⁾	5.524	<0.001
VAS评分				
治疗前	7.48±1.33	7.51±1.18	0.107	0.915
治疗后	4.12±1.25 ⁽¹⁾	2.97±0.85 ⁽¹⁾	4.812	<0.001

与治疗前比较，(1) $P<0.05$ 。JOA. 日本骨科协会评估治疗；ODI. 腰椎功能障碍指数；VAS. 视觉模拟评分法

治疗前两组患者的VAS、JOA及ODI评分的均值变化方向与幅度高度相近，表明两组基线趋势具有可比性，满足双重差分模型平行趋势假设的基本要求。以JOA、ODI、VAS评分为因变量，组别、治疗时间、组别与治疗时间的交互项为自变量，性别、

年龄、BMI、病程等为协变量纳入双重差分模型进行回归分析。结果显示,在控制年龄、性别、病程等混杂因素后,干预措施对CLDH患者疗效显著。组别×治疗时间交互项具有统计学意义($P<0.001$):与对照组相比,观察组JOA评分升高幅度更大($\beta=5.066$),ODI评分($\beta=-6.574$)与VAS评分($\beta=-2.419$)下降幅度更大。性别、年龄、BMI、病程等协变量均未对结局产生明显影响($P>0.05$)(表4)。

2.5 两组治疗前后脊柱生物力学稳定性指标、脊柱屈曲角度、髋关节屈曲角度比较 治疗前,两组PT、LL、SS,脊柱矢状面ROM和冠状面ROM,以及髋关节矢状面ROM和冠状面ROM差异均无统计学意义($P>0.05$);与治疗前相比,治疗后1、3个月

两组PT缩小,LL、SS增大,脊柱矢状面、冠状面ROM及髋关节矢状面、冠状面ROM升高($P<0.05$);治疗后1、3个月,与对照组相比,观察组PT缩小,LL、SS增大,脊柱矢状面、冠状面ROM及髋关节矢状面、冠状面ROM升高($P<0.05$)(表5)。

2.6 相关性分析 Pearson相关分析结果显示,PT、SS、LL、脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM与JOA、ODI、VAS评分相关($P<0.05$),其中,PT与JOA评分呈负相关,与ODI、VAS评分呈正相关($P<0.05$);SS、LL、脊柱矢状面ROM和冠状面ROM、髋关节矢状面ROM和冠状面ROM与JOA评分呈正相关,与ODI、VAS评分呈负相关($P<0.05$)(表6)。

表4 两组钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)患者腰椎功能、疼痛情况评分的双重差分模型分析

Tab.4 Double difference model analysis of lumbar spine function and pain scores in two groups of calcified lumbar disc herniation (CLDH) patients

变量	JOA评分			ODI评分			VAS评分		
	β (SE)	95%CI	P	β (SE)	95%CI	P	β (SE)	95%CI	P
组别	0.052(0.186)	-0.315~0.419	0.781	0.365(0.571)	-0.765~1.495	0.524	0.071(0.178)	-0.279~0.421	0.693
治疗时间	17.528(8.201)	1.354~33.702	0.033	-36.087(4.225)	-44.392~-27.782	<0.001	-4.112(1.873)	-6.663~-3.561	<0.001
组别×治疗时间	5.066(1.432)	3.122~7.010	<0.001	-6.574(0.983)	-8.518~-4.630	<0.001	-2.419(1.965)	-5.352~-2.486	<0.001
年龄	0.318(0.176)	-0.029~0.665	0.072	0.229(0.158)	-0.083~0.541	0.148	0.335(0.269)	-0.198~0.868	0.216
性别	0.043(0.205)	-0.362~0.448	0.089	0.079(0.204)	-0.325~0.483	0.095	0.031(0.187)	-0.338~0.400	0.098
BMI	0.286(0.195)	-0.099~0.671	0.146	0.254(0.216)	-0.172~0.680	0.245	0.323(0.402)	-0.469~1.115	0.422
病程	0.122(0.067)	-0.010~0.254	0.069	0.151(0.245)	-0.333~0.635	0.532	0.086(0.052)	-0.017~0.189	0.103
吸烟史	0.259(0.144)	-0.025~0.543	0.073	0.203(0.641)	-1.058~1.464	0.751	0.305(0.463)	-0.608~1.218	0.511
饮酒史	0.185(0.160)	-0.131~0.501	0.251	0.156(0.089)	-0.020~0.332	0.082	0.227(1.028)	-1.794~2.248	0.825
高血压史	0.303(1.352)	-2.352~2.958	0.822	0.358(0.711)	-1.041~1.757	0.618	0.256(0.311)	-0.357~0.869	0.416
高血脂史	0.224(0.232)	-0.233~0.681	0.336	0.184(0.132)	-0.077~0.445	0.161	0.283(5.101)	-9.718~10.284	0.953
LDH分期	0.408(3.425)	-6.306~7.122	0.905	0.458(0.356)	-0.243~1.159	0.203	0.358(0.701)	-1.021~1.737	0.611
LDH类型	0.251(0.370)	-0.478~0.980	0.501	0.207(0.115)	-0.020~0.434	0.074	0.303(0.298)	-0.284~0.890	0.309

组别, 1=观察组, 0=对照组; 治疗时间, 1=治疗后, 0=治疗前; 性别: 1=男, 0=女; 吸烟史、饮酒史、高血压史、高血脂史: 1=是, 0=否; LDH分期: 以急性期为参照; LDH类型: 以膨出型为参照。BMI. 体重指数; LDH. 腰椎间盘突出症; JOA. 日本骨科协会评估治疗; ODI. 腰椎功能障碍指数; VAS. 视觉模拟评分法

表5 两组钙化型腰椎间盘突出症(CLDH)患者治疗前后脊柱生物力学稳定性指标、脊柱屈曲角度、髋关节屈曲角度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.5 Comparison of spinal biomechanical stability indicators, spinal flexion angle, and hip joint flexion angle between two groups of patients with calcified lumbar disc herniation (CLDH) before and after treatment ($\bar{x}\pm s$)

项目	对照组(n=40)					观察组(n=40)				
	治疗前	治疗后1个月	治疗后3个月	F	P	治疗前	治疗后1个月	治疗后3个月	F	P
PT(°)	16.55±1.43	14.85±1.33 ⁽¹⁾	13.27±2.59 ⁽¹⁾	10.145	0.008	16.35±1.47	13.14±1.33 ⁽¹⁾⁽²⁾	11.05±2.71 ⁽¹⁾⁽²⁾	28.614	<0.001
LL(°)	30.47±2.85	31.54±2.51 ⁽¹⁾	34.84±3.26 ⁽¹⁾	12.163	0.031	30.52±2.73	33.21±2.15 ⁽¹⁾⁽²⁾	36.82±2.62 ⁽¹⁾⁽²⁾	63.481	<0.001
SS(°)	28.53±2.74	29.28±2.46 ⁽¹⁾	30.11±2.58 ⁽¹⁾	9.252	0.047	29.13±3.57	31.05±2.23 ⁽¹⁾⁽²⁾	33.86±2.41 ⁽¹⁾⁽²⁾	51.352	<0.001
脊柱矢状面ROM(°)	42.39±4.85	45.17±2.53 ⁽¹⁾	50.84±5.26 ⁽¹⁾	7.495	0.018	43.12±3.74	51.45±2.37 ⁽¹⁾⁽²⁾	54.73±2.42 ⁽¹⁾⁽²⁾	8.925	<0.001
脊柱冠状面ROM(°)	4.05±1.36	4.26±1.45 ⁽¹⁾	4.98±1.13 ⁽¹⁾	8.417	0.005	4.05±1.19	4.58±1.62 ⁽¹⁾⁽²⁾	5.29±1.24 ⁽¹⁾⁽²⁾	3.912	<0.001
髋关节矢状面ROM(°)	35.87±8.26	38.16±9.27 ⁽¹⁾	52.79±12.76 ⁽¹⁾	7.536	0.033	36.85±8.23	42.52±8.04 ⁽¹⁾⁽²⁾	63.57±10.57 ⁽¹⁾⁽²⁾	10.982	<0.001
髋关节冠状面ROM(°)	2.86±0.82	3.74±1.09 ⁽¹⁾	4.63±1.65 ⁽¹⁾	9.475	0.028	2.83±0.17	4.14±1.55 ⁽¹⁾⁽²⁾	5.28±1.53 ⁽¹⁾⁽²⁾	9.512	<0.001

与治疗前比较, (1) $P<0.05$; 与对照组比较, (2) $P<0.05$ 。PT. 骨盆倾斜角; LL. 腰椎前凸角; SS. 骶骨倾斜角; ROM. 脊柱活动范围

表6 各参数与JOA、ODI、VAS评分的相关性
Tab.6 Correlation between various parameters and JOA, ODI, and VAS scores

参数	JOA 评分		ODI 评分		VAS 评分	
	r	P	r	P	r	P
PT	-0.539	0.005	0.612	<0.001	0.502	0.023
SS	0.492	0.031	-0.526	0.004	-0.486	0.047
LL	0.478	0.016	-0.583	<0.001	-0.511	0.012
脊柱矢状面 ROM	0.587	<0.001	-0.715	<0.001	-0.624	<0.001
脊柱冠状面 ROM	0.421	0.029	-0.581	0.011	-0.675	<0.001
髋关节矢状面 ROM	0.512	0.008	-0.639	<0.001	-0.483	0.018
髋关节冠状面 ROM	0.545	0.016	-0.612	0.025	-0.497	0.020

PT. 骨盆倾斜角; LL. 腰椎前凸角; SS. 骶骨倾斜角; JOA. 日本骨科协会评估治疗; ODI. 腰椎功能障碍指数; VAS. 视觉模拟评分法

3 讨 论

LDH 是脊柱外科常见的疾病之一，其中 CLDH 因其病变的特殊性质，治疗难度相对较大^[14-16]。CLDH 的发生机制复杂，涉及椎间盘退行性变、炎症反应及生物力学失衡等多个方面^[17-19]。钙化灶的形成不仅增加了椎间盘突出硬度，还可能导致神经根受压和脊柱生物力学稳定性破坏，进而引发严重的临床症状^[20-21]。因此，探索一种既能有效清除钙化灶，又能最大限度保护脊柱生物力学稳定性的治疗方法显得尤为重要。

3.1 动力磨钻技术的临床疗效与安全性优势 本研究结果显示，动力磨钻辅助椎间孔镜技术能显著提高钙化灶完全清除率和神经完全减压率，手术的总有效率更高，VAS、JOA、ODI 评分改善明显。这与 Feng 等^[22]的研究结论一致，该研究的长期随访结果证实，精细化的内镜技术是实现良好临床结局的关键。临床研究发现，在处理坚硬的钙化组织时，传统器械因操作局限易导致切除不彻底或神经损伤，而动力磨钻系统通过其高速旋转的磨钻头，能对钙化组织进行可控的、精准的磨削，可在技术上克服传统方法的瓶颈^[23]。Liu 等^[24]报道了将先进技术与内镜结合以提升手术精准性的趋势，本研究从另一个侧面印证，动力磨钻作为一种功能强大的辅助工具，亦能显著提升经皮椎间孔镜技术在复杂病例中的效能和安全性。

3.2 对术后脊柱生物力学稳定性的影响及其机制 脊柱生物力学稳定性是指脊柱在生理负荷下维持其正常结构和功能，防止异常移位或过度活动，并保护神经结构的能力^[25-27]。维持良好的脊柱-骨盆矢状面平衡对于力的高效传递、减缓邻近节段退变及保障患者的远期生活质量至关重要^[28-29]。脊柱-骨盆矢

状面平衡的核心评价指标包括反映骨盆代偿姿态的 PT，反映腰椎核心弧度的 LL 和 SS，以及直接体现功能状态的脊柱与髋关节 ROM^[30]。本研究通过系统的影像学及运动学参数，证实了动力磨钻辅助技术在维持 CLDH 术后脊柱生物力学稳定性方面的独特价值。术后观察组在 PT、LL、SS 及脊柱/髋关节各方向 ROM 的改善方面均明显优于对照组，表明该技术非但未破坏脊柱稳定性，反而更有效地促进了其生理力学状态的恢复。其机制可能在于：(1)实现了“精准骨性减压”。与 Mao 等^[31]研究中因减压不彻底导致再手术的情况相比，动力磨钻能精准去除关节突腹侧、椎体后缘的钙化骨赘，避免了传统刮匙在整块撬除钙化灶时对关节突等承载结构产生的杠杆式应力损伤。(2)促进了“功能性稳定”的恢复。彻底的神经减压解除了因疼痛和神经刺激引发的保护性肌肉痉挛和异常姿势代偿，使得生理性腰椎前凸和骨盆姿态得以重建。本研究相关性分析结果显示，PT 与 ODI、VAS 评分呈正相关，而 LL、SS 及 ROM 与 JOA 评分呈正相关，提示脊柱-骨盆参数的改善与临床症状的缓解密切相关。

3.3 研究的局限性及未来展望 本研究仍存在一些局限性。主要为单中心设计，样本量相对有限，且术后观察时间较短，尽管本研究初步验证了动力磨钻辅助椎间孔镜技术在生物力学稳定性方面的短期优势，但其长期效应，尤其是对邻近节段退变的影响，尚需持续追踪。基于此，未来的研究方向应侧重于：(1)开展多中心、大样本的长期随访研究，在术后 1、3、5 年等时间点进行系统评估，以明确该技术的远期疗效与稳定性；(2)可结合有限元分析等先进的生物力学研究手段，构建术后脊柱三维模型，量化模拟手术节段及邻近节段在不同负荷下的应力变化，从实验力学层面深入揭示其作用机制。

综上所述，动力磨钻辅助椎间孔镜技术在治疗 CLDH 中展现出显著的临床优势，相较于传统技术，其能更彻底地清除钙化灶、更有效地解除神经压迫，从而在显著缓解疼痛、改善功能的同时，更好地维护并促进术后脊柱生物力学稳定性的恢复。本研究为该技术在 CLDH 微创治疗中的应用提供了有力的循证医学证据，值得临床推广应用。

【附加材料】

附表 1 见 <https://dx.doi.org/10.11855/j.issn.0577-7402.1135.2026.0130FJ>。
请扫描右方二维码获取。



【参考文献】

[1] Kim KD, Ahadian F, Hassanzadeh H, et al. A phase 3, randomized,

- double-blind, sham-controlled trial of SI-6603 (condoliase) in patients with radicular leg pain associated with lumbar disc herniation[J]. *Spine J*, 2024, 24(12): 2285-2296.
- [2] Baker JM. Gait disorders[J]. *Am J Med*, 2018, 131(6): 602-607.
 - [3] Jiang LJ, Du XT, Pan ZY, *et al*. Lumbar disc herniation in juveniles: a case-control study of MRI characteristics and etiological insights[J]. *J Orthop Res*, 2023, 41(12): 2685-2693.
 - [4] Abdel-Fattah AR, Irving A, Baliga S, *et al*. How to spot the recurring lumbar disc? Risk factors for recurrent lumbar disc herniation (rLDH) in adult patients with lumbar disc prolapse: a systematic review and meta-analysis[J]. *Acta Orthop Belg*, 2023, 89(3): 381-392.
 - [5] 杨泽希, 于森, 赵文奎, 等. 35岁以下腰椎间盘突出症患者的脊柱-骨盆矢状位序列特征[J]. *中国微创外科杂志*, 2023, 23(4): 272-278.
 - [6] Hincapié CA, Kroismayr D, Hofstetter L, *et al*. Incidence of and risk factors for lumbar disc herniation with radiculopathy in adults: a systematic review[J]. *Eur Spine J*, 2025, 34(1): 263-294.
 - [7] Penchev P, Ilyov IG, Todorov T, *et al*. Comprehensive analysis of treatment approaches for lumbar disc herniation: a systematic review[J]. *Cureus*, 2024, 16(8): e67899.
 - [8] 邸学士, 陈江, 王新茹, 等. 针灸治疗腰椎间盘突出症作用机制研究进展[J]. *针刺研究*, 2024, 49(5): 526-533.
 - [9] 胡震, 杨阳, 赵树雄, 等. 单侧双通道内镜技术的临床应用与展望[J]. *解放军医学杂志*, 2024, 49(3): 349-354.
 - [10] Zheng Y, Zhu C, Huang JF, *et al*. Spontaneous regression of lumbar disc herniation: four cases report and review of the literature[J]. *Nagoya J Med Sci*, 2024, 86(3): 370-382.
 - [11] Xia G, Song E, Kong Q, *et al*. Arthroscopic-assisted uni-portal ligament flavum sparing bone anchoring annular suture technique for lumbar disc herniation: a case report and literature review[J]. *Medicine*, 2024, 103(39): e39763.
 - [12] Fang D, He H, Liu Z. High lumbar intradural disc herniation (L1/2) mistaken for intradural tumor: a case report[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47(12): S249-S251.
 - [13] 韩国嵩, 马力, 祁家龙, 等. 经椎板间入路单通道内镜与单侧双通道内镜治疗腰椎间盘突出症的临床比较[J]. *实用医学杂志*, 2024, 40(11): 1542-1548.
 - [14] Yavuzer G. Three-dimensional quantitative gait analysis[J]. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2009, 43(2): 94-101.
 - [15] Mukaino M, Ohtsuka K, Tanikawa H, *et al*. Clinical-oriented three-dimensional gait analysis method for evaluating gait disorder[J]. *J Vis Exp*, 2018, (133): S7063.
 - [16] Armand S, Decoulon G, Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy[J]. *EFORT Open Rev*, 2016, 1(12): 448-460.
 - [17] Yadav RK, Sherpa T, Hamal PK, *et al*. Clinical outcome for lumbar disc herniation treatment with intradiscal oxygen-ozone therapy[J]. *J Nepal Health Res Counc*, 2024, 21(4): 684-688.
 - [18] Zhao Y, Qi L, Ding C, *et al*. Characteristics of sciatic scoliotic list in lumbar disc herniation[J]. *Global Spine J*, 2024, 14(3): 894-901.
 - [19] Li Z, Yang H, Zhang Y, *et al*. Percutaneous endoscopic transforaminal discectomy and unilateral biportal endoscopic discectomy for lumbar disc herniation: a comparative analysis of learning curves[J]. *Eur Spine J*, 2024, 33(6): 2154-2165.
 - [20] Ohtonari T, Sakai K, Furukawa Y, *et al*. Changes in intervertebral disc properties after intradiscal injection of condoliase for painful lumbar disc herniation[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2024, 64(6): 222-229.
 - [21] Chen X, Wang W, Cui P, *et al*. Evidence of MRI image features and inflammatory biomarkers association with low back pain in patients with lumbar disc herniation[J]. *Spine J*, 2024, 24(7): 1192-1201.
 - [22] Feng F, Zhao R, Dong H, *et al*. Full-endoscopic lumbar discectomy for lumbar disc herniation in young adults: 199 consecutive cases treated by a single surgeon with a mean 3.7-year follow-up[J]. *J Neurosurg Spine*, 2024, 41(3): 369-377.
 - [23] 赖维华, 赖波, 温柳岚, 等. 动力系统辅助经皮椎间孔镜手术治疗腰椎间盘突出症的临床观察[J]. *中华养生保健*, 2025, 43(13): S2-S6.
 - [24] Liu YD, Xu DF, Deng Q, *et al*. Treatment of lumbar disc herniation with robot combined with unilateral biportal endoscopic technology: a case report[J]. *World J Clin Cases*, 2024, 12(17): 3235-3242.
 - [25] Park P, Garton H J, Gala VC, *et al*. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature[J]. *Spine*, 2004, 29(17): 1938-1944.
 - [26] Glassman SD, Bridwell K, Dimar JR, *et al*. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity[J]. *Spine*, 2005, 30(18): 2024-2029.
 - [27] Yonenobu K, Abumi K, Nagata K, *et al*. Interobserver and intraobserver reliability of the Japanese Orthopaedic Association scoring system for evaluation of cervical compression myelopathy[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2001, 26(17): 1890-1894.
 - [28] Schwab F, Lafage V, Patel A, *et al*. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient[J]. *Spine*, 2009, 34(17): 1828-1833.
 - [29] Lafage V, Schwab F, Patel A, *et al*. Pelvic tilt and truncal inclination: two key radiographic parameters in the setting of adults with spinal deformity[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(17): E599-E606.
 - [30] Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, *et al*. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30(3): 346-353.
 - [31] Mao L, Wang K, Zhu W, *et al*. Repeat surgery after percutaneous endoscopic lumbar discectomy for adolescent lumbar disc herniation: a multicenter observational study[J]. *Orthop Surg*, 2024, 16(6): 1336-1334.

(责任编辑: 纪方方)