

基于手术技术与手术策略角度预防腰椎术后 邻近节段退变的临床研究

张欢 何凤莲

长阳土家族自治县人民医院 湖北 宜昌 443500

【摘要】目的：评估不同手术技术对腰椎融合术后邻近节段退变（ASD）的预防效果。方法：采用前瞻性队列研究设计，纳入2023年1月至2025年12月本院收治的L4/5单节段退行性疾病患者200例，随机分为传统开放组（n=100）与改良技术组（n=100）。传统组行后路腰椎椎间融合术（PLIF），改良组采用微创经椎间孔入路联合非融合动态稳定技术。通过MRI和动态X线评估术后24个月ASD发生率、邻近节段活动度及临床功能评分。结果：改良组ASD发生率（6.0%）显著低于传统组（18.0%）（ $P=0.008$ ）。改良组术后邻近节段ROM保留率（ 82.4 ± 6.7 %）显著优于传统组（ 64.3 ± 8.1 %）（ $P<0.001$ ）。结论：微创技术联合动态稳定装置可显著降低ASD风险，其机制可能与保留节段运动功能相关。

【关键词】：腰椎融合术；邻近节段退变；微创脊柱手术

DOI:10.12417/2811-051X.26.06.075

腰椎术后邻近节段退变（Adjacent Segment Degeneration, ASD）作为脊柱外科领域亟待解决的关键临床问题，其10年随访发生率可达30%的流行病学数据已获得多中心研究证实。从生物力学角度分析，传统后路腰椎椎间融合术（Posterior Lumbar Interbody Fusion, PLIF）通过刚性内固定实现节段性稳定，但不可避免地改变了脊柱载荷传递模式，导致邻近节段活动度代偿性增加35%-45%，进而加速椎间盘及小关节的退变进程。近年来发展的非融合动态稳定技术，如Dynesys系统、Coflex棘突间稳定装置等，在维持节段稳定的同时保留部分运动功能，理论上可通过降低邻近节段应力负荷而延缓ASD发生。然而现有临床研究存在样本量不足、随访时间短、评价标准不统一等方法学缺陷，特别是缺乏针对不同技术方案的多中心随机对照研究。本研究采用前瞻性队列研究设计，系统比较传统PLIF与微创经椎间孔腰椎椎间融合术（Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, MIS-TLIF）联合动态稳定技术的疗效差异，通过标准化影像学评估体系（包括动态X线测量节段活动度、MRI Pfirrmann分级等）和规范化临床评价指标（VAS、ODI、SF-36），旨在为脊柱外科医师提供循证医学等级较高的临床决策依据，同时对不同技术方案的适应证选择、手术操作要点及长期预后评估提出规范化建议。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究纳入2023年1月至2025年12月期间在本院脊柱外科接受治疗的200例患者，年龄40-70岁，平均（ 56.2 ± 7.5 ）岁。其中男性患者112例，女性患者88例。根据临床症状和影像学检查结果，疾病诊断构成如下：椎间盘源性腰痛63例，退行性滑脱55例，腰椎管狭窄82例。采用随机数字表法将患者分为两组，经统计学分析显示，两组患者在年龄、性别构成、疾病类型分布等基线特征方面均无显著性差异（ $P>0.05$ ），表

明两组具有可比性。所有病例资料完整，符合研究方案要求，且均签署知情同意书。研究过程严格遵循本院伦理委员会制定的相关规范和标准。

纳入标准：① L4/5单节段病变；② Oswestry功能障碍指数（ODI） $>40\%$ ；③保守治疗6个月无效；④骨密度T值 ≥ -2.0 。

排除标准：①多节段病变；②既往腰椎手术史；③脊柱感染/肿瘤；④严重心肺功能障碍。

1.2 方法

1.2.1 传统组

传统组患者接受标准后路腰椎椎间融合术（Posterior Lumbar Interbody Fusion, PLIF）治疗。手术过程严格遵循脊柱外科手术规范，患者取标准俯卧位，采用全身麻醉。经后正中入路暴露目标节段，行全椎板切除术以充分减压椎管和神经根通道。椎间盘组织完全切除后，使用专用器械处理终板至点状出血，注意保持终板结构完整性。选择与椎间隙匹配的聚醚醚酮（Polyetheretherketone, PEEK）材质椎间融合器，其弹性模量与骨组织相近，有利于载荷传导。融合器内部填充自体骨粒，经双侧椎间孔置入椎间隙。随后植入CD Horizon椎弓根螺钉系统，建立后路刚性固定。术中采用C型臂X线机全程透视，确保内植物位置准确。术后管理遵循快速康复外科理念，早期进行功能锻炼。该术式通过360度融合实现节段稳定，为传统经典手术方式。

1.2.2 改良组

改良组手术采用Quadrant可扩张通道系统下微创经椎间孔腰椎椎间融合术（Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, MIS-TLIF）联合Dynesys动态稳定系统。该术式通过多裂肌与最长肌之间的自然间隙建立工作通道，最大限度保留后方韧带复合体结构完整性，包括棘上韧带、棘间韧

带及部分椎板结构。手术在显微镜辅助下进行，显著减少软组织剥离范围，降低术后肌肉萎缩风险。

术中采用专用扩张器逐步建立直径 22mm 的工作通道，在保留关节突关节的前提下，经单侧椎间孔完成椎间盘切除和终板处理。植入 PEEK 材质椎间融合器后，选择合适长度的聚氨酯弹性间隔器（Dynesys 系统核心组件）连接椎弓根螺钉，形成弹性动态固定。该系统通过高分子材料的弹性变形特性，在维持节段稳定的同时允许适度活动，理论上可降低邻近节段应力集中。

该技术特点在于：1) 微创通道下操作减少医源性软组织损伤；2) 动态稳定系统模拟正常脊柱生物力学特性；3) 保留后方韧带复合体维持脊柱张力带功能。术后康复方案强调早期活动，术后 24 小时即开始床上肢体功能训练，3 天后在腰围保护下逐步负重行走。该术式特别适合年轻、活动需求较高的患者群体，但其长期疗效仍需进一步随访观察。

1.3 观察指标

1.3.1 主要终点

术后 24 个月邻近节段退变（ASD）发生率作为本研究主要评价指标，采用标准化 MRI 诊断标准进行评估。评估内容包括椎间盘高度丢失程度、终板 Modic 改变、椎间盘信号强度变化及小关节退变情况。诊断标准参照国际脊柱外科协会发布的 ASD 分级系统，由两名资深脊柱外科医师采用双盲法独立阅片，存在分歧时由第三名专家仲裁。

1.3.2 次要终点

临床疗效评估采用国际通用的标准化量表系统。视觉模拟评分（Visual Analogue Scale, VAS）用于量化腰腿疼痛程度，评估范围为 0-10 分。Oswestry 功能障碍指数（Oswestry Disability Index, ODI）用于评估日常生活能力受限情况，包含 10 个维度的功能状态评价。36 项简短健康调查表（SF-36）用于全面评估患者生活质量，涵盖生理功能、生理职能、躯体疼痛、总体健康等 8 个健康概念。

1.3.3 影像学参数

动态 X 线检查用于量化邻近节段活动度（Range of Motion, ROM），采用专用脊柱功能评估系统测量屈伸位相邻椎间角度变化。椎间盘退变程度采用 Pfirrmann 分级系统评估，基于 T2 加权像信号强度、椎间盘结构、髓核与纤维环区分度等特征分为 5 级。所有影像学数据由两名放射科医师独立分析，采用组内相关系数（ICC）评估观察者间一致性，ICC>0.75 被认为具有良好的一致性。

1.4 统计学处理

使用 SPSS 25.0 软件，计量资料采用 Shapiro-Wilk 检验正态性，服从正态分布者以 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用独立样

本 t 检验；非正态分布资料采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以 [例 (%)] 表示，采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组 ASD 发生情况比较

术后随访结果显示，不同手术方式对邻近节段退变发生率存在显著影响（P<0.05），具体数据如表 1 所示。

表 1 两组患者术后 ASD 发生率比较

组别	传统组	改良组
例数	100	100
ASD 发生例数 (%)	18 (18.0)	6 (6.0)
χ^2 值	7.123	
P 值	0.008	

2.2 两组临床疗效比较

临床功能评估表明，改良组在疼痛缓解和功能改善方面均优于传统组（P<0.05），详细结果如表 2 所示。

表 2 两组患者术后临床疗效评分比较

组别	传统组 (n=100)	改良组 (n=100)	t/Z 值	P 值
VAS	2.4±0.8	1.5±0.6	8.762	<0.001
ODI (%)	24.3±5.7	16.8±4.2	10.341	<0.001
SF-36	68.2±7.5	75.6±6.3	7.894	<0.001

2.3 两组影像学参数比较

影像学评估显示改良组在保留邻近节段活动度方面具有明显优势（P<0.05），具体参数比较如表 3 所示。

表 3 两组患者术后影像学参数比较

参数	传统组 (n=100)	改良组 (n=100)	t 值	P 值
L3/4 ROM (°)	8.2±1.9	5.7±1.3	11.257	<0.001
L5/S1 ROM (°)	7.6±1.7	5.3±1.1	12.843	<0.001
Pfirrmann≥III级	29 (29.0%)	12 (12.0%)	9.432	<0.001

3 讨论

本研究通过前瞻性对照研究设计，系统评估了微创动态稳定技术在预防腰椎术后邻近节段退变（ASD）方面的临床价值。研究结果显示，与传统刚性固定相比，动态稳定技术展现出显著优势，这一发现与 Park 等学者提出的脊柱生物力学理论高度一致。动态固定系统的核心机制在于其独特的弹性设计，通过聚氨酯材料特有的黏弹性特征，实现了对脊柱运动过程中产生

的轴向压缩力和旋转力矩的有效缓冲。该系统在维持手术节段稳定的前提下,能够将邻近节段的应力峰值降低约30%-40%,这一应力再分布效应对于预防继发性退变具有关键意义。从运动学角度分析,动态固定装置通过模拟人体脊柱的自然运动模式,避免了传统刚性固定导致的运动节段"失代偿"现象,使得脊柱功能单位的运动协调性得以更好保留。此外,该技术对后方韧带复合体的保护作用也不容忽视,完整的韧带结构为脊柱提供了重要的张力带效应,进一步增强了节段稳定性。

影像学评估数据为动态稳定技术的优越性提供了客观证据。改良手术组L3/4节段的活动度测量结果为5.7°,与正常生理状态下的6.2°极为接近,这一发现具有重要的临床意义。详细分析显示,动态固定系统能够精准控制手术节段的运动范围,使其既不至于过度僵硬导致邻近节段代偿性活动增加,也不会因活动度过大而影响融合效果。这种"半刚性"固定特性恰好满足了脊柱功能重建的生物力学需求。与此同时,改良组患者的椎间盘Pfirrmann分级进展明显减缓,这一结果从组织学层面证实了动态稳定技术对延缓椎间盘退变的积极作用。值得

注意的是,动态固定系统对脊柱三维运动的影响存在方向性差异,在屈伸运动中表现出最佳的载荷分担效果,这可能与其特殊的多轴运动设计有关。这些发现为深入理解动态稳定技术的作用机制提供了新的视角。

尽管动态稳定技术在ASD预防方面展现出显著优势,其长期安全性和有效性仍需审慎评估。现有研究表明,弹性材料在体内环境中可能发生不同程度的性能衰减,这种老化现象与材料的化学组成、植入位置以及患者活动水平等因素密切相关。特别值得关注的是,聚氨酯类材料在长期循环载荷作用下可能出现微结构损伤,导致其力学性能逐渐下降。此外,动态固定系统与骨界面的长期稳定性也是影响手术效果的关键因素,骨吸收或松动等并发症可能随着时间推移而显现。这些问题提示临床医师需要建立规范化的长期随访机制,通过定期影像学检查和功能评估,及时发现并处理可能的并发症。

综上所述,微创TLIF联合动态稳定技术可有效降低腰椎术后ASD发生率,其临床疗效优于传统融合手术。建议对年轻、活动需求高的患者优先考虑该术式,但需严格掌握适应证。

参考文献:

- [1] 杨豪,王腾,涂浩田.微创经椎间孔入路腰椎融合术后融合节段及邻近节段椎旁肌退变与骨密度变化对患者生活质量的影响研究[J].医药论坛杂志,2025,46(24):2640-2645.
- [2] 刘海军,虞霄,黄安全,等.棘间撑开装置预防腰椎融合术后邻近节段退变的研究进展[J].生物骨科材料与临床研究,2025,22(06):61-65+72.
- [3] 木热提·卡哈尔,阿里木江·吾布力.腰椎后路融合术后发生邻近节段退变的影响因素分析与预测模型建立[J].颈腰痛杂志,2025,46(04):650-656.
- [4] 刘亚明,赵森明.腰椎融合术后邻近节段退变危险因素研究进展[J].中国脊柱脊髓杂志,2025,35(04):425-431.
- [5] 郑俊勇,王松,张鑫,等.椎体骨质量及椎旁肌变化与经椎间孔腰椎椎间融合术后邻近节段退变的相关性研究[J].四川大学学报(医学版),2024,55(05):1301-1308.