

全脊柱内镜辅助下腰椎融合术 (Endo-LIF)

在腰椎疾病中的应用现状

陈海岳 贺元 朱斌 雷登强 关炳瑜 (通讯作者)

西宁市第一人民医院 青海 西宁 810000

【摘要】：全脊柱内镜辅助下腰椎融合术 (Endoscopic Lumbar Interbody Fusion, Endo-LIF) 是微创脊柱外科领域的革命性进展，将内镜精准可视化优势与传统融合技术结合。本综述系统阐述 Endo-LIF 技术分类 (Endo-PLIF、Endo-TLIF、Endo-OLIF)、核心操作要点、适应症拓展 (腰椎间盘突出症伴不稳、退变性滑脱 I-II 度、椎管狭窄、腰椎术后失败综合征等)、临床疗效 (VAS、ODI 显著改善率 >70%，平均融合率 >90%)、并发症管理 (神经损伤 <5%，硬膜撕裂 <8%) 及其独特优势 (出血量 <50ml，住院时间 <4 天)。证据表明，Endo-LIF 在精准减压、保留脊柱稳定性结构、加速康复方面优势显著。然而，陡峭学习曲线、镜下融合操作难度、长期随访数据待完善等问题仍需关注。未来发展方向包括器械智能化 (机器人/导航整合)、生物材料创新 (3D 打印融合器)、操作标准化及扩大适应症探索 (退变性侧弯、OLIF 翻修)。

【关键词】：全脊柱内镜；内镜腰椎融合术；Endo-LIF；微创脊柱外科；腰椎退变性疾病；并发症

DOI:10.12417/2705-098X.25.21.002

1 引言

腰椎退行性疾病 (腰椎间盘突出症、腰椎管狭窄症、腰椎滑脱症等) 是导致残疾和医疗负担的主要原因。腰椎融合术作为终极治疗手段，传统开放手术存在肌群剥离损伤大、恢复慢等问题^[1]。微创技术如 MIS-TLIF 显著减少了手术创伤，但仍有改进空间^[2]。全脊柱内镜技术因其极致微创、精准可视化特点，已从单纯减压拓展至融合领域。2014 年，Yeung 等首次报道全内镜下经椎间孔腰椎椎体间融合 (Endo-TLIF)，标志着 Endo-LIF 时代的开启^[3]。历经十年发展，Endo-LIF 已形成多入路体系 (Endo-PLIF, Endo-TLIF, Endo-OLIF)，在腰椎疾病治疗中展现出独特价值。本文旨在综述 Endo-LIF 的技术原理、临床现状、疗效证据、挑战及未来方向。

2 Endo-LIF 核心技术分类与操作要点

2.1 技术原理与分类

Endo-LIF 利用高清晰度内镜 (通常直径 <10mm) 建立通道，在生理盐水持续灌注下实现无血化术野，结合特殊器械完成椎间盘切除、终板处理、植骨及融合器植入。根据手术入路主要分为：全内镜下后路腰椎椎间融合术 (Endo-PLIF)：经双侧椎板间窗入路，需部分切除椎板及黄韧带。适合中央管狭窄显著者，但硬膜囊及神经根牵拉风险较高^[4]。全内镜下经椎间孔入路腰椎椎间融合术 (Endo-TLIF)：经典入路，经 Kambin 安全三角 (神经根、下位椎体后上缘、上位椎体下关节突围成) 进入椎间盘，可行神经根直接减压。被视为 Endo-LIF 主流术式^[5]。全内镜下经斜外侧入路腰椎椎间融合术 (Endo-OLIF/BESS-OLIF)：结合 OLIF 与内镜理念，经腹膜后血管神经间隙进入，镜下完成椎间操作，避免腰大肌穿透。适用于 L1-L5，尤其 L4-L5 高位髂嵴患者^[6]。

2.2 关键手术步骤

以 Endo-TLIF 为例：精准定位与通道建立：透视引导下将导针置入目标椎间孔。逐级扩张后置入工作套管 (直径约 10-14mm) 至关节突关节腹侧。镜下骨性结构处理：磨钻或镜下骨凿切除部分上关节突 (关节突成形)，扩大椎间孔，显露行走神经根及出口神经根。椎间盘处理与终板准备：环形切开纤维环，彻底清除髓核组织。专用刮匙清除软骨终板至点状出血，保留骨性终板完整性，这对减少融合器沉降至关重要^[7]。植骨床准备与融合器植入：椎间隙内植入自体骨粒或骨替代材料。在透视及内镜双重监控下，植入合适尺寸的椎间融合器 (如楔形、肾形或 3D 打印定制融合器)。融合器多填充 BMP-2/7 或 DBM 以促进融合^[8]。辅助固定：绝大多数 Endo-LIF 需辅以后路经椎弓根螺钉或皮质骨轨迹螺钉 (CBT) 固定，以提供节段稳定性^[9]。

3 临床适应症与疗效评估

3.1 主要适应症

Endo-LIF 适应症随技术进步不断拓宽：腰椎间盘突出症伴节段不稳 (Modic 改变、椎间隙塌陷 >50%)^[10]；退变性腰椎滑脱 (Meyerding I°-II°)，通过韧带整复效应部分复位^[11]；腰椎管狭窄症 (中央管、侧隐窝狭窄)，内镜直视下实现直接神经减压；腰椎术后失败综合征 (FBSS)，避免原瘢痕区域操作^[12]；极外侧腰椎间盘突出症 (Foraminal/Extraforaminal)，结合 Endo-TLIF 入路优势^[13]；部分腰椎感染性疾病 (如化脓性椎间盘炎) 的清创与稳定^[14]。

3.2 临床疗效评估

大量研究证实 Endo-LIF 显著改善患者预后：症状与功能评分：多项研究报告术后 3 个月腰痛 VAS 评分改善率达

60-80%，腿痛VAS改善率>80%，ODI指数下降>60%^[15]。Wu等（2023）RCT显示Endo-TLIF在术后早期（3个月）VAS评分优于MIS-TLIF^[16]。融合率：1年随访CT显示骨性融合率达89%-95.7%。镜下彻底终板处理及高活性植骨材料应用是关键^[7,17]。手术相关指标：平均单节段手术时间90-150分钟，术中出血量<50ml，术后住院时间缩短至平均2-4天^[16,18]。影像学改善：有效恢复椎间高度（平均增加3-5mm）及节段性前凸角，间接扩大椎间孔面积>20%^[19]。

4 并发症及管理策略

Endo-LIF并发症发生率低但需警惕：神经根损伤（2.1%-4.8%）：多为术中牵拉或热损伤所致一过性感觉异常。精细镜下解剖辨识、避免过度牵拉神经根及持续灌洗降温可有效预防^[20]。术中神经电生理监测应用逐渐普及。硬脊膜撕裂（3.0%-7.5%）：内镜下使用纤维蛋白胶或自体脂肪肌肉覆盖联合体位管理多可解决，罕需开放修补^[21]。融合器相关并发症：融合器位置不良（如侵入椎管）发生率<3%，术中实时双重视觉监控（内镜+透视）是关键。融合器沉降（发生率约5-15%）与终板过度刮除、骨密度低相关，采用宽大接触面融合器及骨质疏松治疗可降低风险^[7,22]。术中出血及术后感染：发生率均<2%。持续灌洗维持清晰视野、严格无菌操作及预防性抗生素应用是基础^[23]。

5 Endo-LIF 优势与当前挑战

5.1 核心优势

极致微创化：切口仅需1-2个8-12mm通道，最大限度保留椎旁肌肉韧带复合体。精准可视化减压：内镜放大视野（通常>30倍）实现神经结构和病变组织的精准辨识与减压。加速术后康复（ERAS）：出血少、疼痛轻，显著缩短卧床及住院时间，早期功能锻炼。复杂病例处理灵活性：内镜可抵达深部狭窄区域，适用于肥胖、既往腰椎手术史患者^[12,24]。

5.2 面临挑战

陡峭学习曲线：镜下三维空间感知、手眼协调、精细操作要求高，需系统培训（模拟操作、标本课程）。早期阶段手术时间较长，并发症风险略高。镜下融合操作难度：终板处理彻底性与效率、融合器的精准植入及植骨有效性在有限空间内极具挑战。器械局限性：专用镜下融合器械（如镜下刮匙、融合

器植入器）仍需完善，现有工具操作角度受限。长期疗效证据待丰富：超过5年的前瞻性随访数据较少，尤其融合器长期稳定性、邻近节段退变率需进一步观察^[17]。费用与普及度：专用设备与耗材成本较高，基层医院普及受限。

6 未来发展方向

技术智能化与精准化：手术机器人/导航整合：提高椎弓根螺钉置入精度、优化融合器位置，减少辐射暴露（如ROSA Spine, Mazor X）。术前3D规划与术中导航配准实现个性化入路。术中高级成像技术应用：术中CT/O-arm与内镜影像融合，实时评估减压及融合器位置。

器械与生物材料创新。先进融合器设计：3D打印多孔钛合金融合器（模仿骨小梁结构，弹性模量接近松质骨），促进骨长入并降低沉降率。可膨胀融合器减小植入通道直径。生物活性增强：融合器表面涂层（如羟基磷灰石、BMP-2缓释系统）、局部应用富血小板血浆或干细胞促进骨融合。镜下专用器械革新：更灵活、强力的镜下高速磨钻，带角度吸引器/刮匙，可视化融合器植入系统。

技术标准化与拓展：规范化培训体系建立：制定操作标准、考核认证，缩短学习曲线。适应症边界探索：在严格筛选下尝试轻度退变性侧弯矫正、OLIF术后翻修、腰椎-骶骨固定（Endo-L5/S1融合）。单一切口双通道技术（Uniportal Biportal Endoscopy, UBE）融合应用：UBE提供更灵活的操作三角，可能简化镜下融合操作。

高质量循证医学研究：多中心大样本长期RCT（>5年）比较Endo-LIF与传统术式疗效及经济学效益。

7 结论

全脊柱内镜辅助下腰椎融合术（Endo-LIF）代表微创脊柱外科前沿，以极致微创切口、高清精准操作、加速康复等优势，为腰椎退变性疾病患者提供高效治疗选择。现有证据支持其在严格适应症下（轻中度滑脱、椎管狭窄伴不稳等）可获得满意临床疗效与高融合率。尽管存在学习曲线陡峭、镜下融合技术难度大、长期数据待完善等挑战，随着智能化辅助设备发展、器械材料创新及技术标准化推进，Endo-LIF的应用前景广阔。未来研究需聚焦长期随访数据积累、复杂病例拓展及卫生经济学评估，以巩固其在腰椎融合手术中的重要地位。

参考文献：

- [1] Park Y, Seok SO, Lee SB, et al. Minimally Invasive Lumbar Spinal Fusion. J Korean Neurosurg Soc. 2021;64(4):511-523.
- [2] Goldstein CL, Macwan K, Sundararajan K, et al. Comparative outcomes of minimally invasive surgery for posterior lumbar fusion: a systematic review. Clin Orthop Relat Res. 2014;472(6):1727-1737.
- [3] Yeung A, Roberts A, Zhu L, et al. Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (Endo-TLIF) with a Navigable Expandable Interbody Device: Early Clinical Experience and Technical Note. Int J Spine Surg. 2021;15(s1):S32-S43.

- [4] Heo DH,Son SK,Eum JH,et al.Fully endoscopic lumbar interbody fusion(FELIF):technical note and early clinical results.Clin Orthop Surg.2015;7(4):422-428.
- [5] Morgenstern R,Morgenstern C.The Role of Full-endoscopic Techniques in Lumbar Interbody Fusion.Neurospine.2022;19(4):961-972.
- [6] Lin GX,Huang P,Kotheeranurak V,et al.Endoscopic Oblique Lateral Lumbar Interbody Fusion:Technical Note and Preliminary Results.Neurospine.2021;18(1):75-83.
- [7] Wang B,LüG,Liu W,et al.Full-endoscopic lumbar interbody fusion versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of lumbar degenerative diseases:a systematic review and meta-analysis.J Orthop Surg Res.2021;16(1):533.
- [8] Wu W,Yang S,Diao W,et al.Analysis of clinical efficacy of endo-TLIF and MIS-TLIF in the treatment of single-level lumbar degenerative disease.J Orthop Surg Res.2023;18(1):258.
- [9] Kim HS,Wu PH,Raorane HD,et al.Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy and Fusion with the Newly Designed Biportal Endoscopic Screw Fixation System:Technical Note and Preliminary Results.Neurospine.2020;17(Suppl 1):S145-S153.
- [10] Ahn Y,Keum HJ,Lee SG.Transforaminal Endoscopic Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Disc Herniation with Modic Changes.World Neurosurg.2020;136:e487-e496.
- [11] Li ZZ,Chen CM,Xie TH,et al.Clinical and Radiographic Outcomes of Full-Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Grade I Degenerative Lumbar Spondylolisthesis.Orthop Surg.2022;14(9):2164-2171.
- [12] Ahn Y,Youn MS,Heo DH.Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion:A Comprehensive Review.Expert Rev Med Devices.2019;16(5):373-380.
- [13] Choi KC,Shim HK,Kim JS,et al.Endoscopic Foraminoplasty for Highly Down-Migrated Extraforaminal Disc Herniation Using a New 3-Dimensional Printed Guide.World Neurosurg.2019;130:e1-e9.
- [14] Telfeian AE.Endoscopic transforaminal discectomy and foraminoplasty with interbody fusion for spondylodiscitis:technical note and case series.J Spine Surg.2020;6(2):446-452.
- [15] Chen J,Jing X,Li C,et al.Percutaneous Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Versus Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Degenerative Diseases:A Systematic Review and Meta-Analysis.World Neurosurg. 2021;150:e96-e109.
- [16] Wu W,Yang S,Diao W,et al.Analysis of clinical efficacy of endo-TLIF and MIS-TLIF in the treatment of single-level lumbar degenerative disease.J Orthop Surg Res.2023;18(1):258.
- [17] Morgenstern R,Morgenstern C,Yeung A.Radiological and clinical outcomes following full endoscopic lumbar interbody fusion (FELIF):a prospective 2-year analysis.Eur Spine J.2022;31(11):2950-2959.
- [18] Chen CM,Lin GX,Sharma S,et al.Endoscopic lumbar interbody fusion(EndoLIF)as a treatment for single-level lumbar degenerative disc disease:a systematic review and meta-analysis.Eur Spine J.2024;33(1):337-348.
- [19] Nie H,Jiang D,Ou Y,et al.The Effectiveness of Full-Endoscopic Interbody Fusion via a Transforaminal Approach versus Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Degenerative Lumbar Diseases.Pain Physician.2021;24(5):E581-E590.
- [20] Li ZZ,Hou SX,Shang WL,et al.Strategies to avoid neurological complications in full-endoscopic lumbar interbody fusion.J Spine Surg.2020;6(Suppl 1):S221-S227.
- [21] Choi G,Kang HY,Modi HN,et al.Risk of developing seizure after percutaneous endoscopic lumbar discectomy.J Spinal Disord Tech.2011;24(2):83-92.
- [22] Xu DS,Walker CT,Godzik J,et al.Minimally Invasive Anterior,Lateral,and Oblique Lumbar Interbody Fusion:A Literature Review.Ann Transl Med.2018;6(6):104.
- [23] Ahn Y.Current Techniques of Endoscopic Lumbar Decompression and Fusion.Neurospine.2023;20(1):3-14.
- [24] Kim HS,Paudel B,Jang JS,et al.Percutaneous Full Endoscopic Biportal Lumbar Interbody Fusion:Technical Note and Preliminary Results.Neurospine.2020;17(Suppl 1):S154-S162.