

水介质单通道脊柱内镜下腰椎椎间融合术临床进展

赖宏通¹, 刘午阳^{2*}

¹赣南医科大学第一临床医学院, 江西 赣州

²赣南医科大学第一附属医院骨科, 江西 赣州

收稿日期: 2024年12月21日; 录用日期: 2025年1月14日; 发布日期: 2025年1月23日

摘要

随着中国社会的老龄化, 腰椎退行性疾病在患者中的发病率逐渐增加, 导致如腰背痛、腰椎活动度下降以及下肢感觉和运动功能异常等一系列问题。近年来, 水介质单通道脊柱内镜下腰椎椎间融合术(以下简称“镜下融合”)逐渐受到重视。这种技术的优势在于能够使用常规手术器械, 具备清晰的镜下视野和较大的操作角度, 同时对椎旁肌肉的损伤较小, 减少了对多裂肌的过度剥离, 术后能够更好地维持脊柱及运动系统的稳定性, 从而帮助患者更早恢复正常生活。基于这些优点, 镜下融合得到了快速发展。本研究将对近年来镜下融合的研究进展进行综述。

关键词

脊柱内镜, 腰椎退变性疾病, 腰椎椎间融合术

The Research Progress of Water-Based Single Channel Endoscopic Lumbar Interbody Fusion

Hongtong Lai¹, Wuyang Liu^{2*}

¹The First Clinical Medical College of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

²Department of Orthopaedic, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou Jiangxi

Received: Dec. 21st, 2024; accepted: Jan. 14th, 2025; published: Jan. 23rd, 2025

*通讯作者。

文章引用: 赖宏通, 刘午阳. 水介质单通道脊柱内镜下腰椎椎间融合术临床进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(1): 1365-1371. DOI: 10.12677/acm.2025.151183

Abstract

With the aging of society in China, the incidence of lumbar degenerative diseases is increasing gradually, which leads to a series of problems, such as low back pain, decreased lumbar mobility and abnormal sensory and motor functions of lower limbs. In recent years, the water-based single channel endoscopic lumbar interbody fusion (hereinafter referred to as "endoscopic lumbar interbody fusion") has been paid more and more attention. The advantage of this technique is that it can use conventional surgical instruments, and has a clear field of vision under the microscope and a large operating angle. At the same time, it has less damage to paraspinal muscles, reduces excessive peeling of multifidus muscles, and can better maintain the stability of the spine and motor system after surgery, thus helping patients to return to normal life earlier. Based on these advantages, the endoscopic lumbar interbody fusion has developed rapidly. This study will summarize the research progress of the endoscopic lumbar interbody fusion in recent years.

Keywords

Spinal Endoscopy, Degenerative Diseases of Lumbar Spine, Lumbar Interbody Fusion

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 镜下融合的技术发展背景

腰椎退行性疾病中, 对于那些严重或逐渐加重的神经症状, 并且保守治疗无效的患者, 外科手术干预成为必要选择。腰椎后路减压椎间植骨融合内固定术是治疗腰椎退行性疾病的一种常见手术方法, 能够有效解除神经压迫、缓解症状, 并重建椎体高度和维持脊柱相邻节段的稳定性, 疗效确切, 同时并发症相对较少, 因此被广泛应用于腰椎椎间盘源性疾病、腰椎不稳、滑脱、翻修及腰椎结核等病症, 是治疗此类疾病的经典术式。该技术通过从后方切除椎板、棘突、黄韧带或只切除部分关节突关节等结构来暴露椎管, 解除神经压迫并使用楔形骨块进行椎体间融合, 然而, 这种手术方式会对肌肉和韧带等解剖结构造成较大的创伤, 产生负面影响。因此, 越来越多的研究者开始关注寻找更合适的治疗方法。

随着外科手术技术的不断进步, 脊柱后路内固定手术的技术逐渐改进, 手术方式也趋于成熟, 而内固定材料的发展也促进了这一领域的进步。近年来, 微创脊柱手术已成为传统开放手术的替代方案[1][2]。1997年美国Yeung[3]研发了同轴脊柱内镜操作系统(Yeung Endoscopic Spine System, YESS), 标志着第一代脊柱内镜技术的诞生。通过对脊柱内镜设备和手术技术的改进, 2003年Hooglang等[4]在研发了经椎间孔脊柱内镜系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS), 标志着第二代脊柱内镜技术的诞生。2012年, Osman[5]开创了脊柱PELIF技术, 并在腰椎退行性疾病的治疗中取得了良好的临床效果。同时可视化成形技术[6]成熟, 进一步降低了镜下融合的技术门槛。

镜下融合的基本概念[7]是在内镜下利用管状通道, 借助脊柱内镜通过椎间孔路径进行腰椎后外侧减压和椎间融合。具有创伤小、恢复快和内镜下减压等优势, 越来越受到脊柱外科医生的关注, 并开展了大量的研究。1996年, Leu等[8]首次提出将镜下融合用于治疗腰椎节段性不稳定合并腰椎间盘突出症。Ito等[9]采用单一通道下经皮脊柱内镜单侧椎板切开双侧椎管减压技术(percutaneous endoscopic unilateral

laminectomy for bilateral decompression, PE-ULBD), 对 78 例老年中央腰椎管狭窄症患者进行治疗, 平均随访 2 年, 结果表明 85.9% 的病例获得优秀或良好的结果, 术后患者未出现症状加重或椎体不稳定。Osman [5] 对 60 例患有退行性椎间盘疾病、退行性腰椎管狭窄及腰椎滑脱症的患者进行了镜下融合取得了良好的治疗效果。随后, Lee 等[10]于 2017 年进一步补充了镜下融合在椎间盘退变性疾病伴椎间盘塌陷治疗中的应用。该技术根据手术入路可分为: (1) 后侧经椎板间隙入路(以切除椎板、下关节突及部分上关节突为特征); (2) 后外侧经关节突入路(以切除上、下关节突为特征); (3) 后外侧经椎间孔入路(或称远外侧入路, 以切除部分上关节突和/或部分下关节突为特征) [7]。

2. 镜下融合的适应证与安全性

早期研究[11]中, 采用镜下融合治疗腰椎退行性疾病的患者, 其总体并发症发生率为 36%, 包括融合器移位、神经根损伤、围手术期感染、骨不连和术后对侧狭窄等情况。尽管该技术显著缩短了手术时间, 并且部分患者取得了令人满意的临床效果, 但由于学习曲线较陡和较高的并发症发生率, 导致对该技术的应用不被广泛推荐。

随着脊柱内镜下腰椎间盘摘除技术和腰椎管减压技术的进步, 以及手术和导航设备的不断完善, 国内外多位学者通过病例对照和病例系列研究, 逐步扩大了镜下融合适应症的范围。根据现有文献[7], 镜下融合的适应证与传统的开放 TLIF 或 MIS-TLIF 相似, 主要包括: (1) 腰椎不稳伴椎间盘突出、侧隐窝狭窄、椎间孔狭窄或中央管狭窄; (2) 轻度退变性或峡部裂性腰椎滑脱; (3) 严重的椎间盘源性腰痛、腰椎终板炎及单纯腰椎不稳; (4) 腰椎术后节段不稳等。禁忌症主要包括: (1) 严重肥胖(体重指数超过 40 kg/m²); (2) 椎间隙明显塌陷; (3) 中重度椎体滑脱(III度及以上); (4) 严重的中央型椎管狭窄; (5) 存在任何影响内固定系统稳定性的因素, 如严重骨质疏松、椎体骨折和感染等。

Kolcun 等[12]随访了 100 例在非全身麻醉下行镜下融合治疗 I 度或 II 度腰椎滑脱的患者术后随访 1 年, 大部分取得较为满意的临床疗效。充分说明了非全麻行镜下融合的可行性, 同时, 非全身麻醉的镜下融合可以缩短住院时间、降低手术费用等。Li 等人[13]开发了一种用于椎间孔成形术的分级插管系统, 舌型套管能够将离开的神经根保护在环钻的工作区域外, 随访 134 例患者, 其中优 75 例, 良 49 例, 可 5 例, 成功率 92.7%。研究[14] [15]显示镜下融合并发症与微创腰椎融合术(MIS-TLIF)类似, 包括硬脑膜撕裂、血肿、感染、残余疼痛、术后感觉迟钝、运动无力、硬件故障等, 两者总发生率范围为 4.9%和 4.4%。并发症的发生率也可能受到外科医生对镜下融合技术的熟悉程度的影响, 但是在手术创伤、失血量、恢复快、术后背痛等方面优于 MIS-TLIF。Kolcun 等[16]报告的并发症包括两例支架移位、一例骨髓炎和一例终板骨折, 其中三例发生在前 50 例中。随着手术和麻醉团队的熟悉程度和效率逐渐提高, 后续手术病例的并发症发生例数明显减少。此外, 镜下融合可以在局部麻醉及硬膜外麻醉下完成, 降低了与全身麻醉相关的风险, 并且可以得到患者的实时神经反馈。2021 年的一项研究[17]表明, 镜下融合与传统后入路椎间融合在术后并发症发生率和融合率上没有显著差异。近年来, 随着内镜器械的改进和手术技术的成熟, 镜下融合的并发症发生率已经显著下降, 越来越多的研究[17]证实了镜下融合是一种有效且前景广阔的脊柱手术方案。

3. 手术技术概述

镜下融合的基本概念[18]是在一个集成工作通道和光学系统的脊柱内镜下, 通过管状通道结合生理盐水持续冲洗术区, 进行微创的腰椎椎间融合手术。根据不同的入路方式, 水介质单通道脊柱内镜下的腰椎椎间融合术可分为以下几种: 经椎间孔入路(也称为经 Kambin 三角入路)、经关节突入路(即后外侧入路)和经后方椎板间隙入路。

3.1. 经椎间孔入路

经椎间孔入路的镜下融合[19]操作此技术入路经由安全三角区进入椎盘。入路位置距离中线 5~8 cm 或 9~12 cm, 位于椎弓根螺钉外侧。内镜通道计划建立至手术节段的椎间孔, 进行椎间孔成形, 并显露 Kambin 三角。对于椎间隙狭窄的患者, 可以先在对侧置入钉棒并撑开, 以增加椎间隙和椎间孔的高度。随后依次使用蓝钳、铰刀、骨铲和刮匙处理椎间盘及上下终板至软骨下骨。更换并置入融合工作通道, 将融合器嵌入椎间隙内。最后, 通过经皮椎弓根螺钉进行固定, 并再次检查神经根及硬膜囊, 以确保充分减压。

该技术的优势在于采用椎间孔入路, 减少了对关节的损伤, 即使在上关节突增生的情况下, 也能迅速找到熟悉的解剖结构进行有效的骨性减压。然而, 劣势在于需要熟练掌握经椎间孔减压的技术, 学习曲线相对陡峭, 并存在上关节突周围出血及损伤神经根的风险。

3.2. 经关节突入路

经关节突入路的镜下融合[20]手术方式类似于 MIS-TLIF, 其体位、麻醉、经皮钉导丝置入、入路侧选择、终板处理和融合器置入等步骤与经椎间孔入路相同。区别在于操作在内镜工作通道下完成。手术入路距离中线为 4~5 cm, 切口通常与椎弓根螺钉切口相同。导丝穿刺至手术节段的下关节突背侧, 随后进行下关节突截骨和黄韧带和部分内侧小关节切除术。对于双侧下肢神经症状的患者, 可以行 PE-ULBD 完成双侧神经根或出口根进行减压。

该技术的优点包括: 手术入路与脊柱开放手术的入路及解剖一致, 对大多数脊柱外科医生学习更加友好。在进行骨性减压前, 椎管外没有神经及大型血管, 手术相对安全。然而, 其缺点在于: 1. 当腰椎退变严重, 小关节骨质增生、形成骨赘, 尤其是上关节突延伸侵犯腰椎间孔, 相应关节突间隙变窄的影响镜下辨认骨性解剖, 可能导致手术迷失方向; 2. 在完成椎管减压后, 置入大套管和融合器时可能对神经产生挤压, 引起神经激惹症状。

3.3. 经后方椎板间隙入路

经后方椎板间隙入路[21]的镜下融合手术通过后方椎板间隙入路进行, 切除椎板、下关节突及部分上关节突, 以建立工作通道。手术入路与开放 PLIF 路径相似, 手术通道位置更加内, 定位点通常位于上位椎体的下关节突或接近椎板(中线旁侧约 2~3 cm)。术中可以显露整个椎管内结构, 同样可以对对侧椎管进行减压, 其余操作与经关节突入路的镜下融合相同。

该技术的优势在于, 对于严重的中央管狭窄患者, 采用椎板间入路可以有效进行背侧减压, 并且在 L5~S1 节段进行手术时不受髂嵴高度的限制。然而, 其劣势在于融合通道更靠近中央, 可能对神经结构造成较大的牵拉, 从而引发术后短暂性肢体麻木等神经激惹症状。

4. 技术比较

与传统的 PLIF、TLIF 和 OLIF 相比, 镜下融合采用脊柱内镜下微创减压, 减少了对椎旁肌的剥离, 对肌肉造成的损伤更小, 保留了后方韧带复合体结构, 增加脊柱的矢状位稳定性, 降低了术后脊柱不稳定、腰背痛及腰椎退变的风险。研究[22]-[24]比较了镜下融合与 PLIF 的疗效差异, 结果显示, 镜下融合术后短期内的腰痛 VAS 评分显著优于 PLIF, 且术中出血量较 PLIF 更少, 但手术时间相对较长。在中期疗效方面, 腰痛和腿痛的 VAS 评分以及 ODI 指标两者之间没有显著差异。研究[23] [25]比较了镜下融合与 OLIF 在治疗腰椎退行性疾病的临床效果。结果表明, 镜下融合术后短期内的腰痛 VAS 评分似乎优于 OLIF, 但在中期的腰痛、腿痛 VAS 评分以及 ODI 指标上, 与 OLIF 并无显著差异。

与 MIS-TLIF 相比, 镜下融合手术出血量更少、下地行走时间更快且平均住院时间更短[15]。Tacconi 等研究[20]通过术后磁共振成像 MRI 发现, 开放融合组的椎旁肌肉信号改变的平均体积明显高于镜下融合组。有学者[26]对比了镜下融合与 MIS-TLIF 术后 7 d 及末次随访时的 VAS、恢复椎间盘高度方面与 MIS-TLIF 组相比有着更好的结果。此外, 两组融合率差异无统计学意义。在对治疗腰椎滑脱的研究[27]中, 术后早期腰痛缓解情况优于 MIS-TLIF; 在中长期两种手术技术临床效果无明显差异, 在末次随访[28]中未发现融合速率、融合器沉降及融合器移位等不良事件方面的差异。并且镜下融合可避免椎旁肌损伤, Wu 等[29]在一项 2 年的前瞻性研究发现, 镜下融合保持了良好的椎旁肌质量, 而椎旁肌的退变往往与术后长期效果之间存在显著相关性[30] [31]。

与 UBE 相比, 镜下融合组在腿痛 VAS 评分和 ODI 评分方面均有显著改善, 且未发现显著差异[32]。在改良 MacNab 标准中, 两组的优良率相似, 但镜下融合在手术时间、估计出血量、切口长度和术后住院时间等方面具有明显优势。

5. 未来发展方向

镜下融合手术虽然具有独特优势, 但仍有许多提升空间。例如, 更适合于镜下减压和融合的工具可以提高减压效率。目前, 手术时间相对于单纯的经椎间孔髓核摘除术较长, 需要频繁更换工具, 这可能会影响内镜系统的使用寿命。未来可能会出现更先进的内镜系统。此外, 在通道置入、经皮置钉和减压过程中, 结合导航系统[33]以及人工智能辅助三维规划系统和机器人辅助技术[34] [35], 能够进一步缩短手术学习曲线, 提高手术的效率和安全性。

6. 总结与展望

微创化作为外科手术发展的趋势, 尤其在脊柱外科领域愈发显著。镜下融合凭借其创伤小、可使用局部麻醉、恢复快以及可靠的疗效等优势, 逐渐受到临床医生的青睐。然而, 目前关于其临床疗效的研究大多为回顾性, 且涉及的小样本和单中心研究较多, 需更多大样本、多中心的随机对照试验和长期随访结果来支持其有效性。此外, 积极开展更先进的器械研发, 未来镜下融合有望在脊柱肿瘤、畸形及多节段病变的治疗中发挥更大价值。

参考文献

- [1] Gunjotikar, S., Pestonji, M., Tanaka, M., Komatsubara, T., Ekade, S.J., Heydar, A.M., *et al.* (2024) Evolution, Current Trends, and Latest Advances of Endoscopic Spine Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 3208. <https://doi.org/10.3390/jcm13113208>
- [2] Lin, E., Kuo, Y. and Kang, Y. (2018) Effects of Three Common Lumbar Interbody Fusion Procedures for Degenerative Disc Disease: A Network Meta-Analysis of Prospective Studies. *International Journal of Surgery*, **60**, 224-230. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2018.11.009>
- [3] Yeung, A.T. (1999) Minimally Invasive Disc Surgery with the Yeung Endoscopic Spine System (YESS). *Surgical Technology International*, **8**, 267-277.
- [4] Hoogland, T., van den Brekel-Dijkstra, K., Schubert, M. and Miklitz, B. (2008) Endoscopic Transforaminal Discectomy for Recurrent Lumbar Disc Herniation. *Spine*, **33**, 973-978. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e31816c8ade>
- [5] Osman, S.G. (2012) Endoscopic Transforaminal Decompression, Interbody Fusion, and Percutaneous Pedicle Screw Implantation of the Lumbar Spine: A Case Series Report. *The International Journal of Spine Surgery*, **6**, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.ijsp.2012.04.001>
- [6] Zhao, X., Ma, H., Geng, B., Zhou, H. and Xia, Y. (2021) Percutaneous Endoscopic Unilateral Laminotomy and Bilateral Decompression for Lumbar Spinal Stenosis. *Orthopaedic Surgery*, **13**, 641-650. <https://doi.org/10.1111/os.12925>
- [7] 中国医师协会骨科医师分会脊柱微创学组. 水介质脊柱内镜下腰椎椎间融合术的临床应用指南(2022) [J]. 中华创伤骨科杂志, 2022, 24(9): 737-746.
- [8] Leu, H., Hauser, R.K. and Schreiber, A. (1997) Lumbar Percutaneous Endoscopic Interbody Fusion. *Clinical Orthopaedics*

- and Related Research*, **337**, 58-63. <https://doi.org/10.1097/00003086-199704000-00008>
- [9] Ito, F., Ito, Z., Shibayama, M., Nakamura, S., Yamada, M., Yoshimatsu, H., *et al.* (2019) Step-by-Step Sublaminar Approach with a Newly-Designed Spinal Endoscope for Unilateral-Approach Bilateral Decompression in Spinal Stenosis. *Neurospine*, **16**, 41-51. <https://doi.org/10.14245/ns.1836320.160>
- [10] Lee, S., Erken, H.Y. and Bae, J. (2017) Percutaneous Transforaminal Endoscopic Lumbar Interbody Fusion: Clinical and Radiological Results of Mean 46-Month Follow-Up. *BioMed Research International*, **2017**, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/3731983>
- [11] Jacquot, F. and Gastambide, D. (2024) Percutaneous Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: Is It Worth It? <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23657674/>
- [12] Kolcun, J.P.G., Brusko, G.D., Basil, G.W., Epstein, R. and Wang, M.Y. (2019) Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion without General Anesthesia: Operative and Clinical Outcomes in 100 Consecutive Patients with a Minimum 1-Year Follow-Up. *Neurosurgical Focus*, **46**, E14. <https://doi.org/10.3171/2018.12.focus18701>
- [13] Li, Z. (2017) Modified Percutaneous Lumbar Foraminoplasty and Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy: Instrument Design, Technique Notes, and 5 Years Follow-Up. *Pain Physician*, **1**, E85-E98. <https://doi.org/10.36076/ppj.2017.1.e85>
- [14] Zhu, L., Cai, T., Shan, Y., *et al.* (2021) Comparison of Clinical Outcomes and Complications Between Percutaneous Endoscopic and Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Degenerative Lumbar Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Physician*, **24**, 441-452.
- [15] Haibier, A., Yusufu, A., Hang, L. and Abudurexiti, T. (2024) 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. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **19**, Article No. 92. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04549-7>
- [16] Kolcun, J.P.G., Brusko, G.D. and Wang, M.Y. (2019) Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion without General Anesthesia: Technical Innovations and Outcomes. *Annals of Translational Medicine*, **7**, S167. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.07.92>
- [17] Nakajima, Y., Dezawa, A., Lim, K. and Wu, P.H. (2024) Full-Endoscopic Posterior Lumbar Interbody Fusion: A Review and Technical Note. *World Neurosurgery*, **189**, 418-427. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.06.147>
- [18] Ahn, Y., Youn, M.S. and Heo, D.H. (2019) Endoscopic Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Comprehensive Review. *Expert Review of Medical Devices*, **16**, 373-380. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1610388>
- [19] 中国康复医学会脊柱脊髓损伤专业委员会脊柱微创学组, 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会腰椎研究学组. 脊柱内镜辅助下腰椎椎体间融合术应用的中国专家共识[J]. 中华医学杂志, 2023(5): 329-335.
- [20] Chang, X. and Li, C. (2022) Current Status and Progress of Minimally Invasive Percutaneous Endoscopic Lumbar Interbody Fusion. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **36**, 660-664.
- [21] Yang, L.H., Peng, D., *et al.* (2024) Clinical Comparison of Endoscopic Posterior Lumbar Interbody Fusion and Open Posterior Lumbar Interbody Fusion for Treating Lumbar Spondylolisthesis. *Clinical Spine Surgery*, **2024**, Article 1719.
- [22] He, L., Chen, K., Chen, C., Chang, Q., Sun, L., Zhang, Y., *et al.* (2022) Comparison of Percutaneous Endoscopic and Open Posterior Lumbar Interbody Fusion for the Treatment of Single-Segmental Lumbar Degenerative Diseases. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 329. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05287-9>
- [23] Li, W., Wei, H. and Zhang, R. (2023) Different Lumbar Fusion Techniques for Lumbar Spinal Stenosis: A Bayesian Network Meta-Analysis. *BMC Surgery*, **23**, Article No. 345. <https://doi.org/10.1186/s12893-023-02242-w>
- [24] Relvas-Silva, M., Pinto, B.S., Sousa, A., Loureiro, M., Pinho, A.R. and Pereira, P. (2024) Is Endoscopic Technique an Effective and Safe Alternative for Lumbar Interbody Fusion? A Systematic Review and Meta-Analysis. *EFORT Open Reviews*, **9**, 536-555. <https://doi.org/10.1530/eor-23-0167>
- [25] Song, Z., Zhang, Z., Zheng, J., Zhang, K., Wang, F., Ran, M., *et al.* (2024) Short-Term and Mid-Term Evaluation of Three Types of Minimally Invasive Lumbar Fusion Surgery for Treatment of L4/L5 Degenerative Spondylolisthesis. *Scientific Reports*, **14**, Article No.4320. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54970-5>
- [26] Deng, C., Feng, H., Ma, X., Chen, C., Mei, J. and Sun, L. (2022) Comparing Oblique Lumbar Interbody Fusion with Lateral Screw Fixation and Percutaneous Endoscopic Transforaminal Discectomy (OLIF-PETD) and Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (MIS-TLIF) for the Treatment of Lumbar Disc Herniation Complicated with Lumbar Instability. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 1104. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-06075-1>
- [27] 高江, 马良, 王艺, 等. 经皮内镜下经椎板间入路与微创经椎间孔入路椎间融合术治疗I、II度腰椎滑脱症的临床疗效对比[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2023, 33(11): 1003-1010.
- [28] Wang, J., Cao, Z., Li, Z., Zhao, H. and Hou, S. (2022) Full-Endoscopic Lumbar Interbody Fusion versus Minimally

- Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion with a Tubular Retractor System: A Retrospective Controlled Study. *World Neurosurgery*, **165**, e457-e468. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.06.083>
- [29] Wu, P.H., Kim, H.S., An, J.W., Kim, M., Lee, I., Park, J.S., *et al.* (2023) Prospective Cohort Study with a 2-Year Follow-Up of Clinical Results, Fusion Rate, and Muscle Bulk for Uniportal Full Endoscopic Posterolateral Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Asian Spine Journal*, **17**, 373-381. <https://doi.org/10.31616/asj.2022.0053>
- [30] Suo, M., Zhang, J., Sun, T., Wang, J., Liu, X., Huang, H., *et al.* (2023) The Association between Morphological Characteristics of Paraspinal Muscle and Spinal Disorders. *Annals of Medicine*, **55**, Article No. 2258922. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2258922>
- [31] Yoshida, Y., Ohya, J., Yasukawa, T., Onishi, Y., Kunogi, J. and Kawamura, N. (2021) Association between Paravertebral Muscle Mass and Improvement in Sagittal Imbalance after Decompression Surgery of Lumbar Spinal Stenosis. *Spine*, **47**, E243-E248. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004183>
- [32] Cheng, X., Bao, B., Wu, Y., Cheng, Y., Xu, C., Ye, Y., *et al.* (2023) Clinical Comparison of Percutaneous Transforaminal Endoscopic Discectomy and Unilateral Biportal Endoscopic Discectomy for Single-Level Lumbar Disc Herniation. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 1107883. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1107883>
- [33] Pan, J., Yu, D., Li, R., Huang, X., Wang, X., Zheng, W., *et al.* (2021) Multi-Modality Guidance Based Surgical Navigation for Percutaneous Endoscopic Transforaminal Discectomy. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, **212**, Article 106460. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106460>
- [34] Chang, M., Wang, L., Yuan, S., *et al.* (2022) Percutaneous Endoscopic Robot-Assisted Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (PE RA-TLIF) for Lumbar Spondylolisthesis: A Technical Note and Two Years Clinical Results. *Pain Physician*, **25**, E73-E86.
- [35] Berikol, G., Gungor, A., Goztepe, M.B., Ozoner, B., Ayhan, S., Akpınar, E., *et al.* (2022) Extreme Lateral Lumbar Interbody Fusion Surgery with a Robot-Assisted System in a Swine Model. *Turkish Neurosurgery*, **33**, 217-223. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.jtn.37409-21.3>