

经皮椎间孔镜技术在腰椎退行性疾病治疗中的研究进展

肖毅辉¹, 罗嘉全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脊柱外科, 江西 赣州

收稿日期: 2024年12月24日; 录用日期: 2025年1月16日; 发布日期: 2025年1月30日

摘要

随着我国社会经济水平的发展以及人口结构趋向老龄化, 中老年人腰椎退行性病患者也日益增多, 腰椎退行性疾病的发病率逐年上升, 给患者的生活质量带来了显著影响。传统的开放手术治疗方法虽然有效, 但往往伴随较大的创伤和恢复期, 限制了其在广泛人群中的应用, 并且绝大多数患者更倾向于通过微创技术解决问题。近年来经皮椎间孔镜技术(Percutaneous Endoscopic Discectomy, PELD)已成为治疗腰椎退行性疾病的有效手术方法之一, 作为一种微创外科手术手段, 以其创伤小、恢复快和疼痛少等优点, 在腰椎退行性疾病的治疗中得到了广泛关注。尽管该技术在临床应用中展现出良好的前景, 但仍存在适应症选择、手术技术熟练度、临床效果及并发症管理等方面的问题。本文旨在综述经皮椎间孔镜技术在腰椎退行性疾病中的最新研究进展, 深入分析其适应症、手术技术、临床效果及并发症管理等关键内容, 以期今后的临床应用提供参考和指导。

关键词

经皮椎间孔镜技术, 腰椎退行性疾病, 微创手术, 临床效果

Research Progress of Percutaneous Intervertebral Foraminoscopy Technology in the Treatment of Lumbar Degenerative Diseases

Yihui Xiao¹, Jiaquan Luo²

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

²Spinal Surgery Department, First Affiliated Hospital of Gannan Medical College, Ganzhou Jiangxi

Received: Dec. 24th, 2024; accepted: Jan. 16th, 2025; published: Jan. 30th, 2025

文章引用: 肖毅辉, 罗嘉全. 经皮椎间孔镜技术在腰椎退行性疾病治疗中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(1): 1731-1738. DOI: 10.12677/acm.2025.151231

Abstract

With the development of our country's social and economic level and the aging population structure, the number of middle-aged and elderly patients with lumbar degenerative diseases is also increasing. The incidence of lumbar degenerative diseases is rising year by year, significantly affecting the quality of life of patients. Although traditional open surgical treatment methods are effective, they often come with considerable trauma and recovery time, limiting their application in a wide population, and most patients prefer to solve problems through minimally invasive techniques. In recent years, percutaneous endoscopic discectomy (PELD) has become one of the effective surgical methods for treating lumbar degenerative diseases. As a minimally invasive surgical approach, it has gained widespread attention in the treatment of lumbar degenerative diseases due to its advantages of minimal trauma, quick recovery, and less pain. Despite the promising prospects of this technology in clinical applications, there are still issues regarding the selection of indications, surgical skill proficiency, clinical outcomes, and management of complications. This article aims to review the latest research progress of percutaneous endoscopic discectomy technology in lumbar degenerative diseases, analyzing key aspects such as indications, surgical techniques, clinical outcomes, and management of complications, in order to provide reference and guidance for future clinical applications.

Keywords

Percutaneous Endoscopic Intervertebral Foramen Technology, Lumbar Degenerative Diseases, Minimally Invasive Surgery, Clinical Outcomes

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. 引言

腰椎退行性疾病是现代社会中常见的健康问题,其流行病学特征和影响日益受到关注。研究表明,腰椎退行性疾病的发生率随着年龄的增长而显著增加,尤其在中老年人群中更为普遍。根据一项研究显示,腰椎退行性疾病的患病率在60岁以上的人群中可达70% [1]。此外,遗传因素、生活方式、职业负荷等多种因素均可能影响腰椎的退行性变[2]。这些疾病不仅影响患者的生活质量,还给社会和医疗系统带来了巨大的经济负担。腰痛、运动障碍、感觉障碍等症状常常使患者不得不寻求医疗帮助,而这些症状的发生与腰椎的退行性变密切相关[3]。因此,深入了解腰椎退行性疾病的流行病学特征及其对患者生活的影响,对于制定有效的预防和治疗措施具有重要意义。传统的腰椎退行性疾病治疗方法主要包括药物治疗、物理治疗和手术治疗等。然而,这些方法在临床应用中存在一定的局限性。例如,药物治疗往往只能缓解症状,无法根治病因,且长期使用可能导致副作用;物理疗法的种类比较多,如人工手法治疗、电磁疗法、力学疗法、光疗等虽然可以改善功能,但效果因人而异,且需要较长时间的坚持;手术治疗则风险较高,恢复时间较长,且可能出现并发症[4]。此外,传统治疗方法在针对特定病变(如腰椎间盘突出、腰椎管狭窄等)时,往往难以达到理想的效果,导致患者反复就医,增加了医疗负担[5]。因此,迫切需要探索更为有效和安全的治疗手段,以改善患者的治疗体验和生活质量。

近年来,经皮椎间孔镜技术的兴起为腰椎退行性疾病的治疗提供了新的选择。这一技术通过微创的方式,利用椎间孔镜经椎间孔或椎板间直接进入病变部位,进行椎间盘的清除或减压,具有创伤小、恢

复快、并发症少等优点[6]。研究表明,采用经皮椎间孔镜技术治疗腰椎退行性疾病的患者,术后疼痛明显减轻,功能恢复良好,满意度高[7]。此外,该技术的应用范围也在不断扩大,从单纯的腰椎间盘突出治疗,逐步拓展到腰椎管狭窄、脊柱肿瘤等多种病症的治疗,显示出良好的临床效果[8]。因此,经皮椎间孔镜技术的推广应用,将对腰椎退行性疾病的治疗产生深远的影响,为患者带来新的希望。

2. 经皮椎间孔技术的发展及应用

2.1. 经皮椎间孔镜技术的基本原理与发展历程

2.1.1. 经皮椎间孔镜技术的演变

微创技术的尝试最开始通过化学方法,在突出椎间盘内注射一定量的胶原酶,通过胶原酶的作用对髓核的作用,使髓核变性回缩,体积变小,从而对神经根的压迫降低,使疼痛症状得到改善,最终起到消除麻木、减轻疼痛的目的[9],后面进一步发展出经皮椎间孔镜技术(Percutaneous Endoscopic Discectomy, PELD),作为一种微创脊柱外科手术,近年来得到了广泛应用。椎间孔镜下髓核摘除术最早起源于 Kambir 1973 年首次引入关节镜为关节镜或内镜下可视化手术,后进一步发展成显微椎间盘切除术[10]。1997 年 Yeung 研制了第三代经椎间孔内窥镜系统(Yeung endoscopy spine system, YESS) [11],在这基础上又有了经椎间孔内窥镜脊柱系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)技术,通过经硬脊膜前间隙由外向内切除病变的髓核组织,并对神经根进行松解、减压,弥补了 YESS 技术的不足[12]。随着技术的不断发展,该技术逐渐演变成为一种多功能的手术方式,不仅限于椎间盘切除,还扩展到治疗脊柱狭窄、椎体骨折等多种病症[13]。早期的经皮椎间孔镜手术主要依赖于传统的内窥镜技术,而现代的全内窥镜技术(Full-Endoscopic Surgery)则通过改进的光学设备和手术器械,使得手术的可视化和操作更加精确和安全[8]。此外,随着对解剖结构的深入理解,手术指征也在不断扩展,涵盖了多级椎间盘突出、退行性椎间盘病等复杂病例[14]。

2.1.2. 椎间孔成形的解剖结构及技术原理概述

经皮椎间孔镜技术的成功实施依赖于对脊柱解剖结构的深刻理解, Kambin 通过对尸体标本的解剖,定义了椎间孔的“安全三角”工作区域,其外上界限为出口神经根,下界限为下位椎体的上终板,内侧界限为硬膜囊或行走神经根,后侧界限为下位椎体的上关节突[15], YESS 技术正是因此“安全三角”而来,而 TESSYS 技术不经过此“安全三角”区进入椎间盘,而是通过直接使用逐级锯磨除部分上关节突,扩大椎间孔面积,再将工作通道置入,避免和降低穿刺与置管时对出口神经根和背根神经节的损伤,该技术主要通过椎间孔进入脊柱管,利用内窥镜对病变椎间盘进行直接观察和操作。椎间孔是脊神经根和脊柱之间的通道,其解剖结构包括椎间盘、椎体、韧带及神经根等[6]。在手术中,准确定位椎间孔,以避免损伤周围的神经和血管。技术原理上,椎间孔镜通过小切口插入,结合高分辨率的内窥镜和专用器械,能够在最小的组织损伤下完成椎间盘的切除或其他治疗操作[16]。这种微创方式不仅减少了术后并发症的发生,还能显著缩短患者的恢复时间,提升生活质量[17]。随着技术的不断进步,未来的经皮椎间孔镜手术将在更广泛的脊柱病变治疗中发挥重要作用。

2.2. 经皮椎间孔技术在不同的腰椎退行性疾病中的应用

2.2.1. 腰椎间盘突出症

腰椎间盘突出症是导致下肢放射痛和功能障碍的常见病症,通常由椎间盘的退行性变引起。近年来,针对腰椎间盘突出症的治疗方法不断发展,尤其是微创手术技术的应用。经皮内镜进行椎间盘切除术(PELD)可以显著改善患者的视觉模拟评分(VAS)和 Oswestry 残疾指数(ODI) [8]。此外,采用不同的内镜

技术如经皮椎间孔镜下的椎间盘切除术(PETD)和经皮内镜下的椎间盘切开术(PEID), 均显示出较低的术后并发症发生率和较快的恢复时间[18]。在一项涉及 37 例患者的研究中, 术后 VAS 评分从术前的 68.0 降至术后 6 个月的 2.5, 显示出显著的疼痛缓解[19]。在另一个 PELD 和开放性腰椎间盘突出术中对比中, 行 PELD 的 32 例年轻患者和开放手术的 34 例年轻患者相比, PELD 组的背痛、手术时间、失血量、住院时间和正常生活能力较开放手术有明显优势[20]。因此, 经皮椎间孔镜技术为椎间盘突出症患者提供了一种安全有效的治疗选择。此外, 研究表明, 采用仅进行脊柱固定的手术方法可以有效缓解与椎间盘突出相关的神经根痛, 而无需对突出的椎间盘或骨刺进行切除, 手术后患者的疼痛评分显著下降, 且在长期随访中无复发现象[21]。在影像学中, 利用磁共振成像(MRI)对腰椎间盘的病变进行评估, 能够提高对间盘突出症的诊断准确性, 尤其是在多种退行性改变的情况下[22]。因此, 综合考虑患者的临床表现和影像学检查结果, 制定个体化的治疗方案, 将有助于提高腰椎间盘突出症患者的治疗效果。

2.2.2. 腰椎管狭窄症

腰椎管狭窄症是由于脊柱退行性改变导致的椎管内空间减少, 进而压迫神经根和脊髓, 常见于老年患者。近年来, 针对腰椎管狭窄症的手术治疗逐渐向微创方向发展, 研究显示, 采用单侧入路进行双侧腰椎管减压手术可以有效减少手术创伤, 同时达到良好的临床效果[23]。此外, 量化腰椎管狭窄的程度对于手术效果的评估至关重要, 研究提出了一种新的定量评估公式, 通过测量狭窄段的脊柱管面积与相邻段的平均面积来评估狭窄程度, 从而为临床决策提供依据[24]。采用经皮椎间孔镜下的腰椎管减压术(PTED)在治疗严重的腰椎管狭窄症, 如成人脊柱侧弯引起的腰椎管狭窄, 以及开放手术减压后的复发性椎间孔狭窄和既往腰椎融合术后邻近段疾病方面具有良好的临床效果, 术后患者的 ODI 和 VAS 评分均显著改善[25]。在一项对比研究中, 使用全内镜技术(Endo-LOVE)与传统的经皮内镜技术(PE-MFD)进行腰椎管减压的患者, 其术后恢复情况也显示出相似的良好效果, 但全内镜技术在术后恢复时间和并发症发生率方面具有优势[26]。在手术后, 患者的功能恢复和疼痛缓解情况显著提高, 表明微创手术在治疗腰椎管狭窄症中具有良好的应用前景。

2.2.3. 腰椎滑脱的治疗

对于腰椎滑脱患者, 相关研究较少, 但经皮椎间孔镜技术也显示出良好的治疗前景。研究表明, 采用经皮内镜下的减压和融合术可以有效改善滑脱患者的症状, 并提高其生活质量[27]。在一项针对低级别退行性滑脱的患者研究中, 术后 70% 的患者报告症状明显改善, 且没有出现滑脱程度加重的情况[28]。此外, 使用经皮椎间孔镜技术进行的手术相比较开放手术具有较低的术后并发症率和较短的住院时间, 患者的恢复速度较快, 术后功能改善明显。腰椎滑脱的病人也可以通过 PELD 进行有效的疼痛缓解, 微创治疗方案。

2.2.4. 其他退行性疾病

除了腰椎间盘突出症和腰椎管狭窄症, 脊柱的其他退行性疾病, 如退行性脊柱侧弯和脊椎滑脱等, 也日益受到关注。这些疾病通常伴随有明显的疼痛和功能障碍, 给患者的生活质量带来严重影响。研究表明, 退行性脊柱病变与患者的年龄、性别等因素密切相关, 尤其是在老年人群中, 脊柱的退行性改变更为普遍[29]。对于这些疾病的治疗, 除了保守治疗外, 手术干预也逐渐成为一种有效的选择。通过对脊柱的影像学评估, 能够更好地了解退行性病变的程度和分布, 从而为手术方案的制定提供科学依据[30]。综上所述, 针对脊柱不同节段的退行性疾病, 个体化的评估和治疗方案将有助于改善患者的临床结局。

2.3. 经皮椎间孔镜在腰椎退行性疾病中不同年龄人群的应用

随着微创技术的发展, 经皮椎间孔镜(PELD)已成为治疗腰椎退行性疾病的重要手段。该技术通过最

小化对周围组织的损伤, 实现了有效的病灶清除和神经减压。不同年龄段的患者在腰椎退行性疾病的发生和发展上存在显著差异, 这使得针对不同年龄患者的治疗策略也有所不同[31]。

在青少年中, 与成年人相比, 有症状的腰椎退行性疾病的患者在青少年中往往很罕见, 青少年腰椎间盘突出症的发病机制和病因研究不足, 但创伤或运动相关事件、遗传学和功能失调的生物机械状况(超重或高大、先天性腰骶畸形)可能是促成因素[32]。青少年腰椎退行性疾病的主要特征与成人不同, 仔细评估对于避免误诊和防止不当手术导致不良结果至关重要, 在腰椎间盘突出患者中, 青少年腰椎间盘突出症(ALDH)占有腰椎间盘突出症(LDH)病例的 0.6%~6.8% [33], 相比于其它微创治疗青少年接受 PELD 手术后, 其手术后 1 周后提供了更好的腿部疼痛的缓解[34], 但在另一项研究中发现, PELD 术后复发是更是罕见的病例, 究其根本原因是研究分析认为青少年内含、柔软、有弹性、粘稠的髓核退化程度较轻, 纤维环与髓核的界限不明, 难以吸收, 手术过程中不易完全去除, 这些都是青少年复发的一个重要因素[35]。

在年轻患者中, 腰椎退行性疾病危险因素包括家族病史, 高度的腰椎负荷和剧烈运动等。青少年存在与中老年腰椎退行性疾病中类似的危险因素, 在对所有 4537 名患者进行额外腰椎手术的风险平均调查时间为 11.4 年研究表明, 在 796 例患者(18%)中观察到任何类型的额外腰椎手术。腰椎间盘突出症手术占额外手术的一半以上。与年轻成人组相比, 青少年任何再次手术的风险更小[36], 年轻患者在接受 PELD 手术后, 通常能够获得更快的恢复和更好的功能改善。一项研究显示, 86 例单腰椎间盘突出症患者中两种微创方式的年轻患者在手术后的视觉模拟评分(VAS)和 Oswestry 残疾指数(ODI)方面的改善均取得了优势[37]。此外, 年轻患者的术后并发症发生率较低, 主要是由于其身体素质较好和恢复能力较强[8]。

相较之下, 老年患者的腰椎退行性疾病多与自然衰老、骨质疏松及合并症等因素密切相关。老年患者在接受 PELD 手术时, 术后恢复时间较长, 且术后并发症的发生率相对较高。例如, 老年患者在手术后的恢复过程中, 可能会面临更高的感染风险和神经损伤风险[18]。然而, 研究也表明, 老年患者在经过适当的术后康复和管理后, 仍然能够获得良好的临床效果, 且其生活质量显著改善[38]。在不同年龄段患者的手术适应症上, 年轻患者通常适合于更为积极的手术干预, 而老年患者则需要更为谨慎的评估和个性化的治疗方案。针对老年患者, PELD 手术的选择和实施应充分考虑其整体健康状况、骨密度及术后康复能力等因素, 以降低术后并发症的风险并提高治疗效果[39]。总的来说, 经皮椎间孔镜技术在不同年龄段患者中的应用, 需结合患者的具体情况进行个性化的评估和治疗, 以达到最佳的临床效果。

2.4. 术后脊柱稳定性与影像学改变

术后脊柱稳定性是脊柱外科手术术后评估的重要指标之一, 直接影响患者的康复效果和生活质量, 以及远期是否复发的关键因素。而影像学检查在术后脊柱稳定性评估中起着至关重要的作用, 通过影像学手段, 医生能够观察到脊柱结构的变化、植入物的稳定性以及骨愈合的情况。多项研究表明, 术后影像学检查能够有效评估脊柱的稳定性和功能恢复情况。例如, 一项针对强直性脊柱炎患者的研究显示, 采用术中 CT 导航技术进行后路稳定化手术后, 所有患者在随访一年后均实现了脊柱的完全骨愈合, 且没有出现神经、血管或内脏损伤的并发症[40]。该研究强调了术后影像学评估的重要性, 确保了植入物的准确位置和脊柱的稳定性。另一项关于成人脊柱畸形的研究发现, 术后脊柱的矢状面参数与患者的平衡和稳定性密切相关。术后患者的中心压力和重心摆动显著减少, 表明脊柱矫正手术后, 患者的姿势稳定性得到了改善[41]。这进一步支持了术后影像学评估在监测脊柱稳定性和功能恢复中的重要作用。

然而, 术后影像学检查的必要性和频率仍然存在争议。一项系统评估研究指出, 常规术后影像学检查对临床管理的直接益处有限, 许多患者的影像学异常并未导致临床管理的改变[42]。因此, 合理安排术后影像学检查的频率和类型, 对于降低医疗成本、提高医疗效率具有重要意义。总之, 术后脊柱稳定性

与影像学改变之间的关系复杂而重要。通过影像学手段, 医生能够更好地评估手术效果, 监测脊柱的稳定性和功能恢复, 进而为患者制定更有效的康复方案。同时, 随着医疗资源的紧张, 如何合理安排影像学检查, 平衡成本与临床效益, 将是未来研究的重要方向。

3. 小节与展望

经皮椎间孔镜技术作为一种近年来主要微创手术方法之一, 在腰椎退行性疾病的治疗中逐渐获得关注。其独特的治疗优势, 如最小的创伤、较短的恢复时间和显著的术后疼痛缓解, 已在多个临床研究中得到了验证。这一技术为患者提供了新的治疗选择, 尤其是对于那些传统手术治疗效果不佳或有手术禁忌, 寻求创伤少的患者而言, 具有重要的临床意义。然而, 尽管经皮椎间孔镜技术的优势明显, 其潜在的局限性也不容忽视。学习时间长、术中操作的复杂性、对医生技术水平的高要求以及对患者适应症的严格把控, 都是影响该技术普及和应用的关键因素。此外, 现有文献中关于术后长期效果及并发症发生率的研究仍显不足, 这为后续的临床应用带来了不确定性。因此, 在推动该技术发展的同时, 必须加强对其潜在风险的评估。未来的研究方向应聚焦于对经皮椎间孔镜技术的系统性评估, 包括与传统手术方法的对比、长期随访数据的收集以及多中心临床试验的开展。同时, 临床实践中应加强对医生培训, 以提高其技术水平, 确保患者安全。此外, 建立统一的适应症和手术规范, 将有助于该技术的标准化应用。

综上所述, 经皮椎间孔镜技术在腰椎退行性疾病治疗中展现了良好的应用前景, 但在推广其临床应用的过程中, 必须理性看待其优势与局限, 综合考虑不同研究结果, 以实现最佳的患者治疗效果。这不仅需要临床医生的努力, 也需要科研工作者的持续探索和验证。只有通过不断的研究和实践, 我们才能为腰椎退行性疾病患者提供更加安全、有效的治疗方案。

参考文献

- [1] Urban, J.P.G. and Fairbank, J.C.T. (2020) Current Perspectives on the Role of Biomechanical Loading and Genetics in Development of Disc Degeneration and Low Back Pain: A Narrative Review. *Journal of Biomechanics*, **102**, Article ID: 109573. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109573>
- [2] Davies, M.R., Kaur, G., Liu, X., Alvarado, F.G., Nuthalapati, P., Liu, M., et al. (2021) Paraspinal Muscle Degeneration and Regenerative Potential in a Murine Model of Lumbar Disc Injury. *North American Spine Society Journal (NASSJ)*, **6**, Article ID: 100061. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2021.100061>
- [3] Saremi, A., Goyal, K.K., Benzel, E.C. and Orr, R.D. (2024) Evolution of Lumbar Degenerative Spondylolisthesis with Key Radiographic Features. *The Spine Journal*, **24**, 989-1000. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2024.01.001>
- [4] Ito, Z., Imagama, S., Kanemura, T., Satake, K., Ando, K., Kobayashi, K., et al. (2014) Volumetric Change in Interbody Bone Graft after Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF): A Prospective Study. *European Spine Journal*, **23**, 2144-2149. <https://doi.org/10.1007/s00586-014-3410-z>
- [5] Huang, W., Han, Z., Liu, J., Yu, L. and Yu, X. (2016) Risk Factors for Recurrent Lumbar Disc Herniation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medicine*, **95**, e2378. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000002378>
- [6] Uchikado, H., Nishimura, Y., Hattori, G. and Ohara, Y. (2020) Micro-Anatomical Structures of the Lumbar Intervertebral Foramen for Full-Endoscopic Spine Surgery: Review of the Literatures. *Journal of Spine Surgery*, **6**, 405-414. <https://doi.org/10.21037/jss.2019.10.07>
- [7] Wang, R., Liang, Z.Y., Chen, X.Y. and Chen, C.M. (2021) Technical Tips for Percutaneous Transforaminal Endoscopic Discectomy: A Three-Step Maneuver for Puncture and Early Clinical Experience. *Orthopaedic Surgery*, **14**, 104-110. <https://doi.org/10.1111/os.13113>
- [8] Ju, C.I. and Lee, S.M. (2023) Complications and Management of Endoscopic Spinal Surgery. *Neurospine*, **20**, 56-77. <https://doi.org/10.14245/ns.2346226.113>
- [9] Smith, L. (1964) Enzyme Dissolution of the Nucleus Pulposus in Humans. *JAMA*, **187**, 137-140. <https://doi.org/10.1001/jama.1964.03060150061016>
- [10] Kambin, P. and Zhou, L. (1996) History and Current Status of Percutaneous Arthroscopic Disc Surgery. *Spine*, **21**, 57S-61S. <https://doi.org/10.1097/00007632-199612151-00006>

- [11] Yeung, A.T. (1999) Minimally Invasive Disc Surgery with the Yeung Endoscopic Spine System (YESS). *Surgical Technology International*, **8**, 267-277.
- [12] Hoogland, T., Schubert, M., Miklitz, B. and Ramirez, A. (2006) Transforaminal Posterolateral Endoscopic Discectomy with or without the Combination of a Low-Dose Chymopapain: A Prospective Randomized Study in 280 Consecutive Cases. *Spine*, **31**, E890-E897. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000245955.22358.3a>
- [13] Ahn, Y. (2019) Endoscopic Spine Discectomy: Indications and Outcomes. *International Orthopaedics*, **43**, 909-916. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-04283-w>
- [14] Fukuhara, D., Ono, K., Kenji, T. and Majima, T. (2022) A Narrative Review of Full-Endoscopic Lumbar Discectomy Using Interlaminar Approach. *World Neurosurgery*, **168**, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.08.080>
- [15] Kambin, P. (1991) Arthroscopic Microdiscectomy. *The Mount Sinai Journal of Medicine, New York*, **58**, 159-164.
- [16] Zhu, Y., Zhang, X., Gu, G., Fan, Y., Zhou, Z., Feng, C., et al. (2024) Clinical Outcomes of Percutaneous Transforaminal Endoscopic Discectomy Assisted with Selective Nerve Root Block for Treating Radicular Pain with Diagnostic Uncertainty in the Elderly. *Journal of Pain Research*, **17**, 753-759. <https://doi.org/10.2147/jpr.s402033>
- [17] Meng, B. (2020) Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy: Indications and Complications. *Pain Physician*, **1**, 49-56. <https://doi.org/10.36076/ppj.2020/23/49>
- [18] Bu, J., Lei, Y., Wang, Y., Zhao, J., Huang, S., Liang, J., et al. (2024) A Multi-Element Identification System Based on Deep Learning for the Visual Field of Percutaneous Endoscopic Spine Surgery. *Indian Journal of Orthopaedics*, **58**, 587-597. <https://doi.org/10.1007/s43465-024-01134-2>
- [19] Meng, S., Peng, C., Zhou, C., Tao, H., Wang, C., Zhu, K., et al. (2021) Massively Prolapsed Intervertebral Disc Herniation with Interlaminar Endoscopic Spine System Delta Endoscope: A Case Series. *World Journal of Clinical Cases*, **9**, 61-70. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v9.i1.61>
- [20] Ahn, S., Kim, S., Kim, D. and Lee, B. (2016) Comparison of Outcomes of Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy and Open Lumbar Microdiscectomy for Young Adults: A Retrospective Matched Cohort Study. *World Neurosurgery*, **86**, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.09.047>
- [21] Goel, A., Patil, A., Shah, A., Rai, S., Vutha, R., Ranjan, S., et al. (2019) Lumbar Radiculopathy: Outcome Analysis Following Treatment by Only Fixation—A Report of an Early Experience of 44 Cases. *Journal of Craniovertebral Junction and Spine*, **10**, 203-209. https://doi.org/10.4103/jcvjs.jcvjs_113_19
- [22] Lehnen, N.C., Haase, R., Faber, J., Rüber, T., Vatter, H., Radbruch, A., et al. (2021) Detection of Degenerative Changes on MR Images of the Lumbar Spine with a Convolutional Neural Network: A Feasibility Study. *Diagnostics*, **11**, Article 902. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050902>
- [23] Borshchenko, I., Gulzatyan, A., Kartavykh, R. and Grin, A. (2019) How I Do It: Bilateral Lumbar Spinal Canal Microsurgical Decompression via Unilateral Approach. *Acta Neurochirurgica*, **161**, 2375-2380. <https://doi.org/10.1007/s00701-019-04059-0>
- [24] Bradley, R., Kumar, A. and Barrett, C. (2021) The Glasgow Lumbar Spinal Stenosis Scale: An Individualised Measurement Formula for the Radiological Assessment of Lumbar Spinal Stenosis. *British Journal of Neurosurgery*, **37**, 63-66. <https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1958148>
- [25] Kapetanakis, S., Floros, E. and Gkantsinikoudis, N. (2021) Extreme Cases in Percutaneous Transforaminal Endoscopic Surgery: Case Series and Brief Review of the Literature. *British Journal of Neurosurgery*, **38**, 94-98. <https://doi.org/10.1080/02688697.2021.1944981>
- [26] Jiang, Q., Ding, Y., Lu, Z., Cui, H., Zhang, J., Fu, B., et al. (2021) Comparative Analysis of Non-Full and Full Endoscopic Spine Technique via Interlaminar Approach for the Treatment of Degenerative Lumbar Spinal Stenosis: A Retrospective, Single Institute, Propensity Score-Matched Study. *Global Spine Journal*, **13**, 1509-1521. <https://doi.org/10.1177/21925682211039181>
- [27] Abbatematteo, J.M., Giraldo, J.P., Williams, G.P., Lee, J.J., DiDomenico, J.D., White, M.D., et al. (2024) Anatomical Reduction of Spondylolisthesis through Lateral Lumbar Interbody Fusion with Percutaneous Pedicle Screw Fixation: An Intraoperative Technical Note. *World Neurosurgery*, **189**, 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.05.162>
- [28] Mitha, R., Mahan, M.A., Patel, R.P., Colan, J.A., Leyendecker, J., Zaki, M.M., et al. (2024) Lumbar Endoscopic Unilateral Laminectomy for Bilateral Decompression in Degenerative Spondylolisthesis. *World Neurosurgery*, **191**, e644-e651. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2024.09.017>
- [29] Baştuğ, B.T. (2024) Exploring Variations in Lumbar Canal Width: An MRI Study on Asymptomatic Patients by Age and Gender. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 6775. <https://doi.org/10.3390/jcm13226775>
- [30] Szaśiadek, M. and Jacków-Nowicka, J. (2023) Degenerative Disease of the Spine: How to Relate Clinical Symptoms to Radiological Findings. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, **33**, 91-98. <https://doi.org/10.17219/acem/163357>

-
- [31] Dammers, R. and Koehler, P.J. (2002) Lumbar Disc Herniation: Level Increases with Age. *Surgical Neurology*, **58**, 209-212. [https://doi.org/10.1016/s0090-3019\(02\)00797-8](https://doi.org/10.1016/s0090-3019(02)00797-8)
- [32] Mao, L., Zhu, B. and Wu, X. (2021) One-Stage Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy for Symptomatic Double-level Contiguous Adolescent Lumbar Disc Herniation. *Orthopaedic Surgery*, **13**, 1532-1539. <https://doi.org/10.1111/os.13097>
- [33] Ozgen, S., Konya, D., Toktas, O.Z., Dagcinar, A. and Ozek, M.M. (2007) Lumbar Disc Herniation in Adolescence. *Pediatric Neurosurgery*, **43**, 77-81. <https://doi.org/10.1159/000098377>
- [34] Li, H., Jiang, C., Mu, X., Lan, W., Zhou, Y. and Li, C. (2018) Comparison of MED and PELD in the Treatment of Adolescent Lumbar Disc Herniation: A 5-Year Retrospective Follow-Up. *World Neurosurgery*, **112**, e255-e260. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.01.030>
- [35] Mao, L., Wang, K., Zhu, W., Shen, Z., Zhang, X., Xie, Z., *et al.* (2024) Repeat Surgery after Percutaneous Endoscopic Lumbar Discectomy for Adolescent Lumbar Disc Herniation: A Multicenter Observational Study. *Orthopaedic Surgery*, **16**, 1336-1343. <https://doi.org/10.1111/os.14042>
- [36] Lagerbäck, T., Möller, H. and Gerdhem, P. (2019) Lumbar Disc Herniation Surgery in Adolescents and Young Adults: A Long-Term Outcome Comparison. *The Bone & Joint Journal*, **101**, 1534-1541. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.101b12.bjj-2019-0621.r1>
- [37] Yin, G., Wang, C. and Liu, S.Q. (2021) Comparative Analysis of the Therapeutic Efficiency and Radiographic Measurement Between the Transforaminal Approach and Interlaminar Approach in Percutaneous Endoscopic Discectomy. *Turkish Neurosurgery*, **31**, 857-865.
- [38] Zhou, Y., Zhou, C., Li, Q., Cai, L., Kou, B., Fang, W., *et al.* (2024) Efficacy of PE-PLIF with a Novel ULBD Approach for Lumbar Degeneration Diseases: A Large-Channel Endoscopic Retrospective Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **19**, Article No. 269. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04755-3>
- [39] Wu, B., Yang, L., Fu, C., Zhuo, Y., Feng, X. and Xiong, H. (2022) Global Trends and Hotspots in Endoscopic Discectomy: A Study Based on Bibliometric Analysis. *Neurospine*, **19**, 1093-1107. <https://doi.org/10.14245/ns.2244574.287>
- [40] Barsa, P., Fröhlich, R., Adamík, J., *et al.* (2020) Surgical Treatment of Cervical Spine Fractures in Ankylosing Spondylitis Patients: Posterior Stabilization Using Intraoperative CT Scanner-Based Navigation. *Rozhledy V Chirurgii: Mesicnik Ceskoslovenske Chirurgicke Spolecnosti*, **99**, 212-218.
- [41] Keister, A., Grossbach, A., Toop, N., Mallory, N., Gibbs, D., Xu, D., *et al.* (2022) Early Postural Stability Changes in Patients Undergoing Correction of Spinal Deformity: A Prospective, Controlled Pilot Study. *Spine*, **48**, 240-246. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004527>
- [42] Shost, M.D., Jella, T.K., Ronald, A.A., Herring, E.Z., Sajatovic, M. and Smith, G.A. (2022) Clinical Utility of Routine Postoperative Imaging in Spinal Fusion Surgery: A Systematic Review. *World Neurosurgery*, **167**, 222-228.e1. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.07.091>