

# 经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病的 研究进展

周怀忠<sup>1,2\*</sup>, 刘超杰<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>吉首大学医学院, 湖南 张家界

<sup>2</sup>张家界市人民医院骨二科, 湖南 张家界

收稿日期: 2026年5月27日; 录用日期: 2026年6月21日; 发布日期: 2026年6月30日

## 摘要

神经根型颈椎病是颈椎退变性疾病中的常见类型, 主要由椎间盘突出、钩椎关节增生、骨赘形成及椎间孔狭窄等因素导致颈神经根受压或炎性刺激, 表现为颈肩痛、上肢放射痛、麻木及肌力减退。传统前路颈椎间盘切除融合术减压效果确切, 但存在节段活动度丧失、邻近节段退变及吞咽困难等不足。近年来, 经皮脊柱内镜技术逐渐应用于该病治疗, 其通过小切口建立操作通道, 在内镜直视下完成突出椎间盘摘除、椎间孔扩大及神经根松解, 具有组织损伤小、出血少、术后恢复快、住院时间短及保留颈椎运动节段等优势。目前, 前路、后路及双通道内镜技术均已在临床开展, 其中后路内镜椎间孔成形术更适用于单侧神经根受压、外侧型椎间盘突出及椎间孔狭窄患者。现有研究表明, 经皮脊柱内镜可有效缓解疼痛、改善颈椎功能, 并具有较好的中短期安全性。然而, 其疗效仍受适应证把握、术者经验、减压范围及并发症防控等因素影响。今后仍需依托多中心、大样本及长期随访研究, 进一步明确其远期疗效、安全性及规范化应用价值。

## 关键词

神经根型颈椎病, 经皮脊柱内镜, 颈椎间盘突出, 椎间孔成形术, 微创外科, 研究进展

# Research Progress on Percutaneous Endoscopic Treatment for Radicular Cervical Spondylosis

Huaizhong Zhou<sup>1,2\*</sup>, Chaojie Liu<sup>2#</sup>

<sup>1</sup>Medical School of Jishou University, Zhangjiajie Hunan

<sup>2</sup>Department of Orthopedics II, Zhangjiajie People's Hospital, Zhangjiajie Hunan

\*第一作者。

#通讯作者。

## Abstract

Cervical spondylotic radiculopathy represents one of the most prevalent forms of degenerative cervical spine disorders. It commonly arises from mechanical compression or inflammatory irritation of the cervical nerve roots secondary to disc herniation, uncovertebral joint hypertrophy, osteophyte formation, or narrowing of the intervertebral foramen. Patients typically present with neck and shoulder pain, radiating upper-limb pain, sensory disturbances, and varying degrees of motor weakness. Although anterior cervical discectomy and fusion remains an established surgical option with reliable decompressive efficacy, its inherent drawbacks, including loss of segmental motion, accelerated adjacent segment degeneration, and approach-related complications such as dysphagia, have prompted growing interest in motion-preserving and minimally invasive alternatives. Percutaneous spinal endoscopy has increasingly been adopted for the management of cervical spondylotic radiculopathy. By establishing a working channel through a small incision, this technique enables targeted removal of herniated disc fragments, foraminal enlargement, and nerve root decompression under direct endoscopic visualization. Compared with conventional open procedures, it is associated with less soft-tissue disruption, reduced blood loss, faster postoperative recovery, shorter hospitalization, and preservation of cervical segmental mobility. Various endoscopic approaches, including anterior, posterior, and biportal techniques, have been applied in clinical practice. Among these, posterior endoscopic foraminoplasty appears particularly suitable for patients with unilateral radicular compression, lateral cervical disc herniation, or foraminal stenosis. Accumulating clinical evidence indicates that percutaneous spinal endoscopy can achieve meaningful pain relief and functional improvement in appropriately selected patients, with an acceptable short- to mid-term safety profile. Nevertheless, its outcomes are closely related to strict indication selection, surgeon experience, adequacy of decompression, and effective prevention of procedure-related complications. Further well-designed multicenter studies with larger cohorts and extended follow-up periods are needed to determine its long-term efficacy, safety, and role in standardized treatment strategies for cervical spondylotic radiculopathy.

## Keywords

Cervical Spondylotic Radiculopathy, Percutaneous Spinal Endoscopy, Cervical Disc Herniation, Foraminoplasty, Minimally Invasive Surgery, Research Progress

Copyright © 2026 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

### 1.1. 背景介绍

颈椎相关疾病是临床上很常见的一类脊柱退变性疾病, 其中颈痛和由颈椎退变引起的神经根症状, 不仅会影响患者日常生活, 也会降低工作能力和生活质量。Kazeminasab 等关于全球颈痛流行病学的综述显示, 颈痛在人群中较为常见, 其发生与年龄增长、长期不良姿势、职业负荷、心理因素以及生活方式等多种因素有关[1]。GBD 2021 研究也指出, 全球颈痛疾病负担仍呈上升趋势, 预计到 2050 年相关病例数还会进一步增加, 这说明颈椎疾病已经不只是个体健康问题, 也具有明显的社会和公共卫生意义[2]。

神经根型颈椎病是颈椎病中较常见的一种类型, 主要是由于颈椎退变后出现椎间盘突出、椎间隙高度下降、钩椎关节或小关节骨赘形成、椎间孔狭窄等改变, 进而压迫或刺激颈神经根。临床上, 患者常出现颈肩部疼痛、上肢放射痛、麻木、感觉异常、肌力下降及腱反射减弱等表现, 疼痛多沿受累神经根支配区域分布。目前, 神经根型颈椎病的治疗方式主要包括保守治疗、介入治疗和手术治疗。对于症状较轻或病程较短的患者, 通常可先采用药物治疗、牵引、理疗、康复训练或神经根阻滞等方式。但如果患者保守治疗效果不佳, 疼痛持续加重, 或者已经出现进行性肌力下降、感觉障碍等神经功能损害, 则需要考虑手术干预。传统前路颈椎间盘切除融合术, 即 ACDF, 长期以来被认为是治疗颈椎神经根病的重要术式, 减压效果较为确切, 但也存在一些不足。例如, Tsalimas 等综述指出, 吞咽困难是 ACDF 术后较常见的并发症之一[3]; Huang 等也指出, 融合术后邻近节段退变是长期随访中需要重点关注的问题[4]。因此, 如何在充分解除神经根压迫的同时, 尽量减少手术创伤、保留颈椎节段活动度, 并降低融合相关并发症, 成为目前临床治疗中值得关注的问题。

## 1.2. 研究意义

经皮脊柱内镜技术是在微创理念下发展起来的一类脊柱外科技术。它通过小切口建立工作通道, 在内镜直视下完成椎间盘摘除、椎间孔扩大和神经根减压。与传统开放手术或融合手术相比, 经皮脊柱内镜具有组织损伤小、出血少、术后疼痛轻、恢复较快、住院时间较短以及保留节段活动度等潜在优势。随着高清内镜、镜下磨钻、射频止血、持续冲洗系统以及影像引导技术的发展, 经皮脊柱内镜在颈椎疾病中的应用范围正在逐步扩大。Huang 等指出, 颈椎内镜技术正从早期探索阶段逐渐走向规范化和精细化, 未来有望在神经根型颈椎病的个体化治疗中发挥更重要作用[5]。因此, 对经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病的研究进展进行系统梳理, 不仅有助于明确该技术的临床优势和适应证范围, 也有助于分析其技术难点、现阶段不足以及未来发展方向, 从而为临床术式选择和个体化治疗提供一定参考。

## 2. 神经根型颈椎病的病理生理学

### 2.1. 神经根型颈椎病的发病机制

神经根型颈椎病是颈椎退变性疾病中较常见的一种类型, 其核心病理基础是颈神经根受到机械压迫和炎症刺激。随着年龄增长, 椎间盘含水量下降、弹性减弱, 椎间隙高度降低, 继而可出现椎间盘突出、钩椎关节及小关节骨赘形成、椎间孔狭窄等改变。这些退变结构会直接压迫神经根, 尤其在颈椎后伸、旋转或椎间孔进一步变窄时, 神经根受压症状更容易加重。Luyao 等系统综述指出, 神经根型颈椎病的治疗方式需结合症状程度、神经功能受损情况和影像学压迫表现综合判断, 说明其病理改变与临床表现之间关系密切[6]。

从更深层的病理生理机制看, 神经根损伤并不只是“被压住”这么简单。Margetis 等总结认为, 神经根型颈椎病通常由机械压迫、炎症反应和局部血供障碍共同作用引起。椎间盘突出、骨赘或小关节增生可缩小椎间孔容积, 导致神经根及其伴行静脉丛受压; 持续压迫会影响静脉回流和轴浆运输, 引起神经根缺血、水肿和传导功能障碍。同时, 退变髓核和局部炎症细胞可释放 TNF- $\alpha$ 、IL-1、IL-6、P 物质和缓激肽等介质, 降低背根神经节神经元兴奋阈值, 从而诱发放射痛、麻木和感觉异常等神经病理性症状[7]。NCBI Bookshelf 对该病的综述也指出, 颈神经根受压可引起从颈部向肩部、上肢、胸背部放射的疼痛, 并常伴肌力下降和腱反射减弱。

临床上, 神经根型颈椎病常表现为颈肩部、上肢放射痛、麻木、针刺感、肌力下降和腱反射减弱, 疼痛多沿受累神经根支配区域分布。C6、C7 神经根较常受累, 患者可出现腕伸、肘伸或手指屈伸力量下降。Kim 等在近期综述中指出, 颈椎退变可同时造成神经根或脊髓受压, 因此临床评估时需区分单纯神经根

病、脊髓病以及两者共存的情况[8]。这对后续治疗方式选择非常重要, 因为单纯神经根压迫可考虑保守治疗、神经根阻滞或减压手术, 而合并脊髓受压者则需更谨慎评估手术时机和减压范围。

## 2.2. 影像学评估

影像学评估是神经根型颈椎病诊断和治疗方案制定的重要基础。常规 X 线可观察颈椎曲度、椎间隙高度、骨赘及动态不稳; CT 对骨性结构显示更清楚, 适合评估钩椎关节增生、关节突骨赘、椎间孔骨性狭窄和后纵韧带骨化; MRI 则是评价椎间盘突出、神经根受压、硬膜囊受压和软组织病变的主要方法。Sarwan 等指出, MRI 在判断椎间盘突出和神经根受压方面具有重要价值, 而 CT 更适合明确骨赘及骨性椎间孔狭窄, 必要时可结合肌电图以提高诊断准确性[9]。NCBI 影像学章节也强调, MRI 是评估颈椎神经根病和脊髓病的重要工具, 可显示退变、椎间盘、椎管及神经结构关系。

近年来, 颈椎神经根病的影像学评价正在向精细化发展。Wang 等研究显示, 增强 3D T2-SPACE MRI 在识别不同神经根压迫位置方面较传统 2D MRI 更准确, 有助于判断责任节段和责任神经根[10]。Jiang 等则探讨了 3T MR 神经/骨融合成像在颈椎椎间孔狭窄分级中的作用, 提示融合成像可更直观显示神经根与骨性狭窄之间的关系[11]。Meacock 等研究进一步提示, 椎间孔狭窄的严重程度和形态与术前功能状态及术后功能改善可能存在相关性[12]。

对于经皮脊柱内镜治疗而言, 影像学不仅用于诊断, 还直接影响术前规划和术中安全。MRI 可帮助明确椎间盘突出方向、神经根受压位置和软组织压迫来源; CT 可判断骨赘、关节突增生和椎间孔骨性狭窄范围; 三维重建及神经/骨融合成像则有助于确定穿刺方向、工作通道位置和镜下减压范围。准确识别责任节段和压迫来源, 是减少减压不足、避免神经血管损伤并提高内镜手术效果的前提。

## 3. 经皮脊柱内镜治疗的技术发展

### 3.1. 经皮脊柱内镜的技术原理与设备

经皮脊柱内镜技术是近年来微创脊柱外科发展较快的一类手术方式。它的基本思路是在尽量减少正常组织损伤的前提下, 通过较小切口建立手术通道, 在内镜直视下完成椎间盘摘除、椎间孔扩大、神经根减压以及部分骨性结构处理。与传统开放手术相比, 经皮脊柱内镜不需要大范围剥离椎旁肌肉, 也能减少对后方韧带复合体和关节突结构的破坏, 因此在减少术中出血、减轻术后疼痛、缩短康复时间等方面具有一定优势。Huang 等指出, 颈椎内镜技术近年发展迅速, 已经逐渐用于颈神经根病及部分颈髓病治疗, 前路、后路以及部分改良入路也在不断完善; 但与此同时, 该技术仍存在学习曲线较长、对透视依赖较强、处理复杂多节段病变能力有限等问题[5]。

从发展过程来看, 脊柱外科手术大致经历了开放减压、显微镜辅助手术、管道微创手术, 再到全内镜手术的转变。传统开放手术虽然视野充分、减压直接, 但手术创伤较大, 术后肌肉损伤和瘢痕形成较明显, 患者恢复时间也相对较长。显微镜和管道技术的应用在一定程度上减少了切口和组织牵拉, 但仍然需要一定的操作空间。全内镜技术则进一步缩小了手术通道, 将观察系统、冲洗系统和操作器械整合在较小范围内, 使术者能够在持续灌注和镜下放大视野中完成更加精细的操作。脊柱内镜显微外科技术的价值并不仅仅是让“切口变小”, 更重要的是要求减少正常组织结构的损伤、降低硬膜外软组织的瘢痕形成、减少术中及术后出血量、加快术后快速康复; 在未来, 经皮脊柱内镜技术还会与导航、机器人及新型可视化系统进一步结合。

设备进步是经皮脊柱内镜不断拓展应用范围的重要基础。现代内镜系统通常由高清镜头、光源系统、工作套管、持续冲洗装置、射频止血系统、髓核钳、抓钳、镜下动力磨钻、神经探钩等组成。随着镜头清晰度、光源亮度、器械强度和冲洗稳定性的提高, 内镜手术已不再局限于单纯椎间盘摘除, 而是逐渐应

用于椎管狭窄、椎间孔狭窄、颈椎及胸椎疾病,甚至部分融合相关技术。Gunjotikar 等指出,光学系统、内镜磨钻、刨削系统和冲洗泵的进步,使术者能够在高倍放大视野下完成更复杂的骨性减压,也推动了内镜技术从腰椎间盘突出向腰椎管狭窄、颈胸椎病变及融合技术方向扩展[13]。

在这些设备中,镜头、射频和磨钻对手术效率和安全性影响较大。高清镜头能够帮助术者更清楚地辨认神经根、硬膜囊、黄韧带、关节突和椎间盘组织边界;射频设备常用于止血、软组织汽化和纤维组织松解,但使用时必须注意温度和作用时间,避免造成神经热损伤;镜下动力磨钻主要用于处理椎板、关节突及骨赘,是完成椎间孔扩大和骨性减压的重要工具。这些改进对于颈椎内镜尤为重要,因为颈椎周围有脊髓、神经根和椎动脉等重要结构,手术操作空间更小,对精确性的要求也更高。

定位技术同样是经皮脊柱内镜安全开展的关键。传统内镜手术多依赖 C 臂透视来判断节段、穿刺方向和工作通道位置,但反复透视不仅增加患者和医护人员的辐射暴露,也对术者三维空间判断能力提出较高要求。近年来,光学导航、电磁导航、三维 C 臂、O-arm、CT 导航及实时器械追踪技术逐渐被引入脊柱内镜领域。Hagan 等指出,光学导航和电磁导航有助于改善术者对解剖结构和器械位置的判断,尤其适合工作通道狭窄、解剖标志不清或需要精准穿刺的病例[14]。与单纯透视相比,导航系统能够将术前或术中影像与实际器械位置对应起来,使穿刺点设计、通道建立和靶点定位更加直观。

机器人和增强现实技术则代表了内镜手术进一步智能化的发展方向。目前机器人在脊柱外科中更多用于椎弓根螺钉置入和路径规划,但其精准定位理念同样可以服务于内镜手术。Lee 等认为,导航和机器人辅助技术有助于提高定位准确性、减少透视次数,并增强复杂病例中的操作稳定性[15]。Sharma 等进一步提出,二维透视导航、三维导航、增强现实和机器人技术可以参与术前规划、术中定位及器械路径引导,未来有望降低内镜手术学习曲线,提高复杂解剖区域操作的安全性[16]。不过,这些新技术仍面临设备价格较高、注册误差、手术流程延长和基层医院普及困难等问题,因此目前更适合作为技术发展方向,而不是完全成熟的常规配置。

总体来看,经皮脊柱内镜设备已经形成较完整的技术体系:高清成像让术者“看得清”,持续冲洗让手术视野保持清楚,射频和磨钻帮助处理软组织及骨性结构,导航和机器人则让定位更加精准。这些设备共同推动内镜技术从单纯椎间盘摘除,逐步发展到复杂减压、颈椎后路椎间孔成形、前路选择性椎间盘摘除和双通道内镜减压等方向。但需要注意的是,设备进步不能完全替代术者经验。尤其在颈椎内镜手术中,安全性仍然取决于术前影像判断、入路设计、镜下解剖识别、神经保护意识以及并发症处理能力。

### 3.2. 手术方法与步骤

经皮脊柱内镜手术虽然入路不同,但基本流程大体相似,通常包括术前影像评估、适应证判断、体位摆放、穿刺点设计、影像或导航定位、软组织逐级扩张、置入工作通道、镜下辨认解剖结构、完成减压或椎间盘切除、确认神经根松解、止血冲洗和关闭切口等步骤。不同入路的具体操作方式有所差异,但共同目标都是在最小创伤下准确到达病变区域,并完成充分、可控的神经减压。

前路内镜颈椎间盘切除术主要用于软性颈椎间盘突出,尤其是中央型或偏中央型突出导致神经根症状的患者。Ahn 指出,前路内镜颈椎间盘切除术主要包括两个关键环节:一是在透视控制下建立安全的前方经皮入路;二是在内镜直视下用专用器械完成选择性椎间盘切除和椎间孔减压[17]。具体操作时,患者多取仰卧位,术者先在 C 臂透视下确认目标节段,再经胸锁乳突肌内侧、颈动脉鞘外侧与气管食管之间的安全间隙进入椎间盘区域。导针进入目标位置后逐级扩张,随后放置工作套管和内镜。在进入椎间盘后,术者可在镜下切除突出髓核、松解纤维环锚定,并根据神经组织搏动和活动度判断减压是否充分。

前路内镜的优势是能够从病灶前方直接处理椎间盘突出,对中央型或偏中央型软性突出较有针对性,同时可以减少后方肌肉和骨性结构损伤,并有助于保留节段活动度。但这一入路也有明显风险,因为其邻近气管、食管、颈动脉鞘、甲状腺、喉返神经和椎动脉等重要结构,对穿刺角度和通道位置要求很高。如果定位不准确,可能出现血管损伤、吞咽困难、声音嘶哑、血肿或减压不足等问题。因此,前路内镜更适合无明显节段不稳、无严重骨赘或后纵韧带骨化的软性突出患者,不宜盲目扩大到复杂多节段病变。

后路内镜颈椎孔成形术是目前治疗神经根型颈椎病较常用的内镜术式,尤其适用于外侧型椎间盘突出、椎间孔狭窄或单侧神经根受压患者。该术式通常采用俯卧位,术前通过MRI和CT判断病变节段、椎间孔狭窄程度、关节突增生范围以及椎动脉位置。穿刺点多位于目标节段旁开一定距离,通过C臂透视或导航将工作通道放置在椎板与关节突交界区域,也就是临床上常说的“V点”附近。Huang等在综述中描述了后路颈椎内镜减压过程:切口可位于中线旁2~3mm,内镜停靠在椎板与关节突交界处,清理软组织后显露V点,再使用内镜磨钻扩大术野,显露黄韧带外侧部分,最后移除黄韧带和突出椎间盘组织,完成硬膜囊及神经根减压[5]。

后路内镜操作的关键包括准确定位目标节段、建立稳定通道、辨认椎板、关节突、黄韧带和神经根结构,并在有限范围内切除部分椎板及内侧关节突,扩大椎间孔,解除神经根受压。该术式的优点是不需要融合,可保留椎间盘和颈椎节段活动度,对外侧型神经根压迫处理较直接。但如果关节突切除过多,可能影响颈椎稳定性;如果减压不足,则可能导致症状残留或复发。因此,后路内镜并不是简单“磨开一点骨头”,而是需要在充分减压和维持稳定之间取得平衡。

单孔全内镜和双通道内镜是目前后路技术中较有代表性的两种形式。单孔全内镜把观察系统和工作通道整合在同一套管内,切口更小,软组织损伤较轻,但器械活动范围有限,对术者镜下操作能力要求较高。双通道内镜则把观察通道和操作通道分开,操作空间更大,可以使用更多常规脊柱器械,处理骨性狭窄和复杂减压时更方便。Kim等比较单孔内镜、双通道内镜和显微镜后路颈椎孔成形术,发现三种术式均能取得较好临床和影像学结果,而内镜技术在减少关节突切除和保护后方结构方面有一定优势[18]。Kang等比较经皮全内镜和双通道内镜后路颈椎孔成形术,发现两者术后1年疗效均较好,但在手术时间、术后早期颈痛和操作特点方面存在差异[19]。

双通道内镜近年来发展较快,尤其适合需要较大操作空间的骨性狭窄和复杂减压。Lee等对UBE-PCF进行系统综述和Meta分析,结果显示UBE-PCF可显著改善NDI、颈痛VAS和上肢痛VAS,并且与全内镜PCF相比,临床结果和并发症方面无明显差异[20]。从技术角度看,双通道内镜的观察通道主要负责提供视野和持续灌注,工作通道则用于磨钻、咬骨钳、剥离器和射频等器械操作。这种设计更接近传统显微镜手术的操作习惯,但也带来冲洗压力控制、软组织分离范围增加和学习曲线等问题。

并发症预防是经皮脊柱内镜手术步骤设计中非常重要的一环。颈椎内镜手术并发症与入路密切相关:前路内镜可能出现血肿、吞咽困难、声音嘶哑和疾病复发,后路内镜则可能出现持续性臂痛、感觉异常、硬膜损伤、上肢运动障碍。这些并发症往往与穿刺定位不准、解剖层次不清、磨钻操作不当、冲洗压力过高或神经根牵拉有关。因此,术前应仔细分析MRI、CT及必要时CTA影像,明确椎动脉走行、椎间孔大小、骨性增生范围和主要压迫来源。

实际操作中,磨钻应沿骨面逐步推进,避免盲目深磨;射频应短时间、低功率、间断使用;冲洗压力既要保证视野清晰,又不能过高,以免引起硬膜外压力升高或术后颈肩痛。

学习曲线也是经皮脊柱内镜推广中必须重视的问题。Kang等采用累积和检验分析双通道内镜后路颈椎孔成形术的学习曲线,结果显示术者完成约20例后,手术操作可逐渐趋于稳定[21]。这提示内镜技术虽然创伤小,但并不简单,尤其是颈椎区域容错率低,更需要系统培训、模拟练习、阶梯式病例选择和有经验医师带教。初学者应从单节段、外侧型、软性突出或轻中度椎间孔狭窄病例开始,避免一开始就

处理巨大中央型突出、多节段狭窄、严重骨赘或明显脊髓压迫病例。

总体而言, 经皮脊柱内镜手术方法的发展, 是入路设计、器械改良、定位技术和术者经验共同进步的结果。前路内镜强调安全穿刺和选择性椎间盘切除, 适合部分软性颈椎间盘突出; 后路内镜强调椎间孔扩大和神经根减压, 更适合外侧型突出和椎间孔狭窄; 双通道内镜则通过分离观察通道和操作通道, 提高了处理骨性狭窄及复杂减压的能力。未来随着高清成像、导航、机器人和智能化培训系统进一步成熟, 经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病的安全性和可重复性有望进一步提高, 但其临床推广仍应建立在严格适应证、规范操作流程和长期随访证据基础上。

## 4. 临床研究及疗效评估

### 4.1. 国内外临床研究进展

近些年, 随着脊柱内镜器械、影像定位技术及微创理念的不断发展, 经皮脊柱内镜技术在神经根型颈椎病治疗中的应用逐渐增多。早期相关研究多以病例报告、单中心小样本研究为主, 主要关注手术可行性和短期疗效; 近年来, 系统评价、Meta 分析及不同术式之间的比较研究逐渐增多, 使该技术的临床价值获得了更系统的评价。神经根型颈椎病的主要病理基础包括椎间盘突出、钩椎关节增生、椎间孔狭窄及骨赘形成等, 这些病变可导致神经根受压或炎性刺激, 进而引起颈肩部疼痛、上肢放射痛、麻木、感觉减退及肌力下降等症状。传统前路椎间盘切除融合术长期以来是治疗该病的重要术式, 但融合手术可能造成节段活动度丧失, 并增加邻近节段退变、吞咽困难、植骨沉降及内固定相关并发症的风险。因此, 如何在充分解除神经压迫的同时最大限度保留颈椎活动功能, 已成为当前临床研究关注的重点。

Zhang 等对经皮内镜椎间盘切除术治疗椎间盘突出症的疗效和安全性进行了系统评价与 Meta 分析。该研究共纳入 9 项非随机对照研究、390 例患者, 研究来源主要集中于中国和韩国。结果显示, PECD 术后整体优良率较高, 患者术后 1 周及末次随访时 VAS 评分均较术前明显降低, 颈痛复发率约为 3%, 不良事件发生率约为 5%。与 ACDF 相比, PECD 在缩短手术时间、减少住院时间以及提高优秀疗效比例方面显示出一定优势[22]。这一结果提示, 对于经过严格适应证筛选的患者, 经皮内镜技术能够获得较理想的近期疗效及较好的安全性。然而, 由于纳入研究多为非随机对照研究, 样本量和随访时间仍存在一定局限, 因此其远期疗效和推广价值仍需更高质量研究进一步验证。

从国外研究现状来看, 前路、后路以及前路经椎体等不同内镜入路均已被应用于退变性颈神经根病的治疗。Alomar 等系统评价了前路和后路内镜手术治疗颈神经根病的临床效果, 认为两种入路均可取得较高的临床成功率, 但二者在适应证选择、解剖路径和并发症类型方面存在明显差异[23]。Guo 等进一步比较了显微镜辅助 ACDF 与后路经皮内镜 keyhole 椎间孔成形术治疗单节段单侧颈神经根病的疗效。该 Meta 分析纳入 24 项研究、1345 例患者, 结果显示两种术式在有效率、总体并发症发生率及再手术率方面差异并不显著, 但 ACDF 相关并发症多表现为吞咽困难、椎体沉降等融合相关问题, 而 PPEKF 则更需要重视神经根牵拉或损伤风险[24]。Rajjoub 等比较了微创后路椎间孔成形术与前路经椎体入路, 发现前路经椎体入路在改善颈痛 VAS 评分方面可能具有一定优势, 但该技术对骨性通道设计、术中定位及术者经验要求较高[25]。此外, Almasi 等通过网络 Meta 分析从更广泛的层面对颈神经根病手术方式进行了比较, 为内镜技术、ACDF、人工椎间盘置换及其他微创手术之间的疗效定位提供了参考依据[26]。

国内关于经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病的研究近年来增长较快, 研究重点主要集中在后路经皮内镜椎板-椎间孔成形术、椎间盘切除术以及 keyhole 技术的改良应用。Yao 等探讨了后路经皮内镜颈椎板-椎间孔成形术治疗神经根型颈椎病的临床疗效及学习曲线, 结果显示该术式可有效缓解疼痛并改善功能障碍, 但手术操作具有一定技术门槛, 术者需要通过一定数量病例积累后才能逐渐缩短手术时间、

降低并发症发生风险并提高操作稳定性[27]。Sun 等在 2025 年的研究中比较了 PECD 与 ACDF 治疗单节段神经根型颈椎病的效果, 结果显示两组患者术后 NDI、颈痛 VAS 及上肢痛 VAS 均较术前明显改善; 同时, PECD 在切口长度、术中出血量、住院时间及治疗费用方面更具优势, 并提示术者大约完成 23 例后可进入相对熟练阶段[28]。由此可见, 国内临床研究已不再局限于验证该技术是否有效, 而是逐渐转向术式标准化、疗效稳定性、学习曲线及成本效益等更具临床实践意义的问题。

除传统单通道内镜技术外, 双通道内镜、超声骨刀辅助 keyhole 技术、经侧块入路等新型或改良术式也逐渐成为研究热点。Sun 等比较了通道辅助颈椎 keyhole 技术联合超声骨刀与后路经皮内镜颈椎椎间孔成形术的疗效, 结果显示两组患者术后疼痛评分、NDI 评分及 MacNab 评价均获得明显改善, 整体疗效相近; 但超声骨刀组在缩短手术时间方面具有一定优势, 代价是切口相对较大[29]。另有研究对 PECD 与 UBE keyhole 技术治疗神经根型颈椎病进行了 2 年随访比较, 发现两组术后 VAS、NDI 及 MacNab 评分均较术前显著改善, 提示 UBE 技术凭借较大的操作空间和较高的器械灵活度, 在部分复杂椎间孔狭窄或骨性压迫病例中具有潜在应用价值[30]。Zhang 等将单侧双通道内镜椎间孔成形及椎间盘切除术与压电骨刀技术相结合, 用于治疗伴神经病理性根性疼痛的神经根型颈椎病患者, 结果显示术后颈痛、上肢痛 VAS 评分及 NDI 评分均明显下降, 且未出现严重围手术期并发症[31]。这些研究表明, 经皮脊柱内镜技术正在由单一减压模式向多入路、多器械辅助和个体化治疗方向发展。

## 4.2. 临床疗效评价

经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病的疗效评价不能仅依赖单一指标, 而应从疼痛缓解、功能恢复、影像学改善、复发及再手术情况、并发症发生率和生活质量变化等方面进行综合判断。疼痛评价中, VAS 和 NRS 是最常用的量化工具, 临床研究通常分别记录颈部疼痛和上肢放射痛的变化情况, 以反映神经根减压后的症状改善程度。功能评价方面, NDI 应用最为广泛, 能够反映颈椎疾病对患者日常活动能力的影响; 部分研究还采用 JOA 评分、NPDS 评分和改良 MacNab 标准, 用于补充评估神经功能恢复及患者满意度。影像学评价则主要关注椎间孔扩大情况、神经根减压是否充分、椎间隙高度变化、颈椎 Cobb 角、节段活动度以及术后是否出现不稳。对于多节段退变、影像表现与症状不完全一致或责任节段判断困难的患者, 选择性神经根阻滞可用于辅助定位责任神经根, 从而提高靶向减压的准确性, 并在一定程度上改善临床疗效[32]。

长期随访结果是评价经皮脊柱内镜技术能否在部分患者中替代或减少融合手术需求的重要依据。Paik 等对后路全内镜颈椎椎间孔成形术治疗颈椎间盘突出或椎间孔狭窄患者进行了随访研究, 共纳入 52 例患者, 随访期间观察 NDI、颈痛 NRS、上肢痛 NRS 以及动态影像学指标变化。研究显示, 椎间盘突出和椎间孔狭窄患者术后临床结局及影像学结果差异不明显, 患者症状均可获得改善, 颈椎运动学参数也相对稳定。不过, 研究同时提示术后仍需关注退变进展、疼痛复发及少数患者再次手术的可能性[33]。Wang 等 2025 年报道了后路经皮内镜颈椎间盘切除术治疗单节段神经根型颈椎病的至少 3 年随访结果。该研究纳入 51 例患者, 术后颈痛 VAS、上肢痛 VAS、JOA 评分和 NDI 评分均较术前显著改善, 末次随访时 MacNab 优良率达到 94.12%; 同时, 颈椎 Cobb 角、活动度、椎间隙高度及手术节段位移均未出现明显不良变化[34]。这一结果说明, 在合适适应证下, P-PECD 不仅能够获得较好的中长期症状缓解, 还可能在维持颈椎稳定性和节段活动功能方面具有优势。

生活质量和卫生经济学评价也是近年来微创脊柱外科研究的重要组成部分。对于神经根型颈椎病患者而言, 治疗目标不仅是解除疼痛, 还包括缩短住院时间、减少术后康复负担、尽快恢复工作和日常生活。Monk 等比较了 ACDF 与显微内镜后路颈椎椎间孔成形术治疗单侧颈神经根病的 1 年成本 - 效用。结果显示, 两组患者围手术期安全性、90 天再入院率及 1 年再手术率接近, 患者报告结局均获得明显改

善; 但 ACDF 组 1 年总费用显著高于显微内镜后路手术组, 提示其成本-效用相对较低[35]。这一发现表明, 对于单侧、单节段、以椎间孔或外侧型压迫为主且无明显节段不稳的患者, 后路微创或内镜手术可能更符合“充分减压、保留运动节段、降低治疗成本”的临床目标。

总体而言, 近 5 年国内外文献普遍认为, 经皮脊柱内镜治疗神经根型颈椎病具有切口小、出血少、软组织损伤轻、恢复快、住院时间短及保留颈椎运动节段等优势。其较适合单节段、单侧神经根症状明确、影像学压迫部位与临床表现一致、无明显颈椎不稳或脊髓受压表现的患者。对于中央型巨大突出、严重骨性椎管狭窄、明显后纵韧带骨化、多节段复杂病变或合并颈椎不稳者, 仍应根据病变特点和患者整体情况谨慎选择术式。未来研究应进一步开展多中心、大样本、前瞻性随机对照试验, 并统一 VAS、NDI、JOA、MacNab 标准、影像学参数和生活质量量表等疗效评价体系。同时, 还应延长随访时间, 以明确不同入路、不同内镜系统、不同辅助器械及术者学习曲线对远期疗效和安全性的影响。Dinh 等近期关于单节段全内镜后路椎间孔成形及髓核摘除术的 12 个月随访研究显示, 该技术在短期内具有较好的临床和影像学结局, 也为亚洲地区不同医疗环境下推广该术式提供了进一步参考[36]。

## 5. 经皮脊柱内镜治疗的创新与前景

### 5.1. 技术创新

近些年, 经皮脊柱内镜技术的发展速度较快。它已经不再只是传统意义上的“小切口手术”或“微创通道技术”, 而是逐渐和影像导航、机器人辅助、高清可视化、智能化操作平台等新技术结合起来, 形成了一种更加精细、更加精准的微创脊柱外科治疗模式。也就是说, 当前内镜技术的进步, 并不只是体现在切口变小、出血减少、住院时间缩短这些方面, 更重要的是手术理念和操作方式正在发生变化。Kwon 和 Park 在相关综述中指出, 未来内镜脊柱外科的发展重点, 将更多集中在导航、增强现实、虚拟现实、机器人以及超高清成像等技术的融合应用上, 其目的在于提高手术定位的准确性和术中操作的安全性[37]。

从临床实际来看, 经皮脊柱内镜手术虽然具有创伤小、恢复快等优势, 但它也存在术野相对狭窄、解剖标志不够直观、操作空间有限等问题。尤其是在颈椎、胸椎或复杂退变性病变中, 医生不仅要熟悉局部解剖, 还要在有限视野下完成精准减压, 这对术者经验要求较高。Hahn 和 Park 认为, 导航、机器人和三维可视化技术的引入, 有助于弥补内镜手术在视野和空间判断方面的不足, 同时也可能降低学习曲线, 使该技术更容易实现标准化推广[38]。Hagan 等也提到, 光学导航和电磁导航能够帮助术者更准确地判断椎间孔、侧隐窝、多节段狭窄等复杂区域的解剖位置, 从而减少因定位不准导致的减压不足或医源性损伤[14]。

机器人辅助技术则为经皮脊柱内镜的精准化发展提供了新的可能。传统内镜手术中, 穿刺路径、工作通道建立以及靶点定位在很大程度上依赖术者经验, 而机器人和导航系统的结合, 能够在术前规划和术中执行之间建立更加稳定的对应关系。利用导航和机器人辅助脊柱手术能够提高定位和置钉的准确性, 减少术中透视次数, 在一定程度上能降低术者和患者的放射暴露。Schmidt 等认为, 将导航系统应用于全内镜手术, 可以减少以往手术中依靠经验判断的部分, 使术前影像规划、术中路径选择和最终减压目标更加一致[39]。Sharma 等进一步总结了二维透视导航、三维 C 臂导航、增强现实以及机器人技术在内镜手术中的应用, 认为这些新兴技术有助于将患者个体化解剖信息更好地转化为术中操作依据, 从而提高手术安全性[16]。

除了导航和机器人, 内镜设备本身也在不断升级。过去内镜系统更多强调“能看到”和“能操作”, 而现在则更加重视镜下图像清晰度、冲洗系统稳定性、射频止血安全性以及动力磨钻的精细化程度。Yuh 等从工业技术发展的角度提出, 高清镜头、稳定的液体管理系统、低热损伤射频设备和精细化磨钻, 是

未来内镜脊柱外科继续发展的重要基础[40]。这些改进看似属于器械层面的优化,但实际上会直接影响术中视野、出血控制、骨性减压效率以及神经组织保护效果。特别是在颈椎等解剖结构复杂、神经血管密集的区域,器械的精细化程度往往与手术安全性密切相关。

在新材料和新能源技术方面,激光辅助、射频消融、可弯曲器械和新型工作通道等也逐渐被用于不同类型的脊柱内镜手术。Hellinger 等比较了经皮前路颈椎激光技术与内镜椎间盘切除技术,提示激光辅助治疗并不是适用于所有患者,其疗效很大程度上取决于严格的病例选择和病变类型判断[41]。因此,技术创新并不意味着单纯追求设备先进或手段复杂,而是要把新技术真正应用到合适的患者、合适的病变和合适的手术场景中。未来,经皮脊柱内镜技术的发展应更加注重“精准选择”和“合理应用”,避免因技术过度扩张而增加不必要的手术风险。

## 5.2. 临床适应症拓展

经皮脊柱内镜技术最早主要用于腰椎间盘突出症,尤其是单节段、软性椎间盘突出导致的神经根压迫。随着镜下磨钻、双通道技术、高清成像系统和冲洗泵等设备的成熟,其应用范围已经明显扩大。现在,内镜技术不仅可以用于腰椎间盘突出症,也逐渐应用于腰椎管狭窄、椎间孔狭窄、颈椎神经根病、部分胸椎病变,甚至在部分病例中与融合技术结合使用。Gunjotikar 等指出,现代内镜脊柱外科已经从单纯椎间盘摘除,逐渐扩展到腰椎管狭窄减压、颈胸椎疾病治疗以及部分融合手术等领域[42]。Lokhande 也认为,全内镜脊柱手术是近年来发展较快的一类微创脊柱外科技术,其优势主要体现在术野放大、组织损伤小、术后恢复快等方面[43]。

在颈椎疾病方面,内镜技术的发展尤其值得关注。颈椎区域解剖结构复杂,脊髓、神经根、椎动脉及食管气管等重要结构关系紧密,因此手术安全性要求更高。对于神经根型颈椎病而言,后路内镜减压在保留椎间盘和颈椎节段活动度方面具有一定优势,尤其适用于外侧型椎间盘突出、椎间孔狭窄或单侧神经根受压的患者。Zhang 等 Meta 分析显示,经皮内镜颈椎间盘切除术在缓解疼痛、改善功能和总体安全性方面具有较好结果,为其在颈椎退变性疾病中的应用提供了较有价值的循证依据[22]。

表 1 对当前临床常用经皮脊柱内镜技术的主要特点进行了归纳与比较。另外,内镜技术在高龄及合并多种基础疾病患者中的应用,也为临床治疗提供了新的思路。传统开放手术创伤相对较大,对高龄患者的心肺功能、麻醉耐受能力和术后康复能力要求较高。而内镜手术由于切口小、组织损伤轻、出血量少,理论上更适合部分高风险患者。不过,我们也应该了解到,高龄患者常伴有骨质疏松、心脑血管疾病、糖尿病、长期抗凝用药等问题,手术风险并不会因为采用内镜技术而完全消失。因此,对这类患者开展内镜手术时,更需要重视术前评估、麻醉管理、出血控制和术后康复。

**Table 1.** Comparison of the characteristics of ACDF, anterior endoscopic surgery, posterior uniportal endoscopic surgery, and posterior biportal endoscopic surgery for the treatment of cervical radiculopathy

**表 1.** ACDF、前路内镜、后路单通道内镜与后路双通道内镜治疗神经根型颈椎病的特点比较

比较项目	ACDF	前路内镜椎间盘切除术	后路单通道全内镜	后路双通道内镜
主要适应证	适用于颈椎间盘突出、骨赘形成、椎间隙塌陷或节段不稳等情况,尤其适合需要充分前方减压、恢复椎间高度或重建颈椎稳定性的患者。	更适合软性椎间盘突出,尤其是中央型或旁中央型突出导致神经根症状者。对于明显骨性狭窄、节段不稳、严重后纵韧带骨化或复杂多节段病变,适应证应更加谨慎。	主要适用于单节段、单侧神经根受压,尤其是外侧型椎间盘突出、椎间孔狭窄或轻中度骨性压迫患者。	适应证与后路单通道内镜相似,但因操作空间相对更大,更适合部分骨性狭窄较明显、需要较充分椎间孔减压或对器械操作要求较高的病例。

续表

手术创伤	需要经前路显露椎间隙, 完成椎间盘切除、植骨融合及内固定, 整体创伤相对较大。	通过较小前路通道完成选择性椎间盘摘除, 对椎旁肌肉及后方结构影响较小, 但前方通道毗邻重要血管、气管、食管和神经结构。	切口小, 肌肉剥离少, 可在内镜直视下完成靶向减压, 对后方结构破坏较轻。	采用观察通道和操作通道分离的方式, 操作空间较单通道更宽裕, 但软组织分离范围可能略大于单通道内镜。
平均手术时间	手术步骤相对固定, 但因涉及融合、内固定和影像确认, 整体手术时间通常较长。	由于以选择性摘除突出髓核为主, 若病例选择合适, 手术时间通常较短。	手术时间受术者经验、椎间孔狭窄程度和骨性减压范围影响较大, 学习曲线阶段可能相对延长。	由于操作空间较大、器械使用更灵活, 熟练后手术效率可能较高, 但初期仍受学习曲线影响明显。
住院日	因融合、内固定及术后观察需求, 住院时间通常较内镜术式更长。	创伤较小, 术后恢复较快, 住院时间通常较短。	多数患者术后疼痛较轻、下床活动较早, 住院时间相对较短。	术后恢复速度与单通道内镜相近, 若无并发症, 住院时间通常也较短。
主要并发症	可能出现吞咽困难、声音嘶哑、血肿、食管或气管损伤、植骨沉降、假关节形成、内固定相关问题及邻近节段退变等。	可能出现穿刺通道相关血管或食管损伤、声音嘶哑、吞咽不适、血肿、减压不足或症状复发等。	可能出现神经根牵拉刺激、感觉异常、持续性上肢疼痛、硬膜损伤、减压不足或复发等。若关节突切除过多, 还可能影响节段稳定性。	可能出现硬膜损伤、硬膜外血肿、神经根刺激、感觉异常及冲洗压力相关不适等。需要注意操作空间扩大并不等同于风险降低。
运动节段保留	目标节段需融合, 术后该节段活动度丧失。	一般不需要融合, 可保留目标节段活动度。	不需融合, 可保留目标节段运动功能。	不需融合, 同样具有保留运动节段的优势。
邻近节段退变	因目标节段融合, 邻近节段代偿性活动增加, 长期可能增加邻近节段退变风险。	理论上可减少融合相关邻近节段应力改变, 但仍需长期随访验证。	可避免融合相关节段活动丧失, 理论上有助于降低邻近节段退变风险。	同样具有运动节段保留优势, 但长期邻近节段保护作用仍需更多研究证实。
主要优势	减压直接、疗效确切、适应证广, 可同时处理椎间盘、骨赘、椎间隙塌陷及节段不稳等问题。	创伤小、恢复快、保留节段活动度, 对合适的软性椎间盘突出患者具有较好微创优势。	靶向解除椎间孔及外侧神经根压迫, 避免前路入路相关并发症, 创伤小、恢复快。	操作空间较大, 器械活动度较高, 骨性减压和复杂椎间孔狭窄处理更方便。
主要局限	存在融合相关并发症, 可能牺牲颈椎活动度, 并增加邻近节段退变风险。	适应证相对较窄, 对穿刺路径、影像判断和术者经验要求高, 不适合所有类型颈椎病变。	操作通道狭窄, 镜下操作要求高, 学习曲线较陡, 复杂骨性狭窄处理难度较大。	虽然操作空间较大, 但对冲洗压力控制、双通道配合及术者熟练度要求较高, 标准化流程仍需进一步完善。

### 5.3. 未来研究方向

从目前研究来看, 经皮脊柱内镜技术已经表现出较好的发展潜力, 但要真正成为成熟、规范、可广泛推广的治疗方式, 仍有不少问题需要进一步解决。首先是适应证边界问题。Chen 等指出, 虽然脊柱内镜已经应用于多种退变性脊柱疾病, 但不同病变类型、压迫位置、骨性狭窄程度以及脊柱稳定性状态下, 究竟哪类患者最适合内镜治疗, 仍需要更多研究加以明确<sup>[44]</sup>。也就是说, 未来不能简单地把“微创”理

解为所有患者都适用, 而应根据病变特点和患者整体情况进行个体化判断。

其次是技术标准化问题。Burkett 和 Brooks 认为, 经皮脊柱内镜虽然应用范围不断扩大, 但其推广仍受到设备成本、培训体系、技术门槛以及地区医疗水平差异等因素影响[45]。在临床实践中, 不同医院、不同术者对内镜手术适应证、入路选择、减压范围和术后康复方案的理解并不完全一致, 这容易造成疗效差异。因此, 未来有必要建立更统一的技术流程、培训标准和疗效评价体系。例如, 应明确不同节段病变的最佳入路选择, 规范术前影像评估内容, 制定术中减压充分性的判断标准, 并建立术后随访和复发评估流程。

并发症防控同样是未来研究不能回避的重点。Ju 和 Lee 指出, 内镜脊柱手术常见并发症包括硬膜撕裂、围手术期血肿、感觉异常、神经根损伤以及症状复发等, 不同手术入路和不同病变节段所面临的风险也并不相同[46]。多项研究提示, 随着内镜技术适应证不断扩大, 不能只强调其微创优势, 还必须系统评估其风险。未来可以通过建立多中心并发症登记数据库, 对手术入路、病变类型、术者经验、影像参数、并发症类型、再手术率和长期结局进行连续记录, 从而更客观地评价该技术的安全性。

此外, 多中心、大样本、长期随访研究仍然非常必要。目前不少关于经皮脊柱内镜的研究仍以单中心、回顾性研究为主, 样本量有限, 随访时间也相对较短。这样的研究虽然能够初步说明技术可行性和近期疗效, 但对于长期复发率、再手术率、相邻节段退变、成本效益以及患者生活质量改善等问题, 证据仍然不够充分。未来应更多开展前瞻性、多中心、随机对照研究, 并将患者报告结局指标、影像学指标、卫生经济学指标和并发症指标纳入统一评价体系。这样才能更全面地判断经皮脊柱内镜技术在不同疾病、不同人群中的真实价值。

总体来看, 经皮脊柱内镜治疗的未来方向应当是精准化、智能化和个体化。导航、机器人和增强现实等技术有望提高穿刺、定位和减压的准确性; 高清镜头、射频、磨钻和冲洗系统的进步可以改善镜下操作效率; 而长期随访和高质量循证研究则是该技术能否进一步推广的关键。对于神经根型颈椎病以及其他脊柱退变性疾病, 未来治疗不应只看疾病名称, 而应综合考虑病变节段、压迫性质、脊柱稳定性、患者年龄、基础疾病、功能需求以及经济承受能力。只有在严格病例选择、规范技术培训、完善医疗质量控制和政策支持的基础上, 经皮脊柱内镜技术才能从一种新兴微创手段, 逐步发展为更加成熟、可靠并具有广泛应用价值的脊柱外科治疗体系。

## 6. 小结

经皮脊柱内镜技术推动神经根型颈椎病治疗由单纯减压转向兼顾神经功能恢复、节段活动保留和创伤控制的综合模式。现有研究表明, 对于责任节段明确、症状与影像学表现一致、无明显颈椎不稳或脊髓受压的患者, 经皮内镜可通过靶向摘除突出髓核、扩大椎间孔和松解神经根, 有效缓解疼痛并改善功能。其优势不仅在于切口小、出血少和恢复快, 更在于为单节段、单侧神经根受压患者提供了保留颈椎活动度、减少融合相关影响的治疗选择。尤其在外侧型椎间盘突出、骨性椎间孔狭窄及关节增生所致神经根压迫中, 后路内镜椎间孔成形术及双通道内镜技术具有较高应用价值。

但经皮脊柱内镜并不能简单替代传统开放或融合手术。其疗效与安全性取决于术前影像评估、责任节段定位、入路选择、减压范围、关节突保留及术者经验。前路内镜适用于部分软性椎间盘突出, 但毗邻重要血管、气管、食管及喉返神经, 操作风险较高; 后路内镜更适合椎间孔外侧压迫, 但需避免减压不足或关节突切除过多导致疗效不佳和节段不稳。双通道内镜虽改善了操作空间和骨性减压效率, 也对冲洗压力控制、软组织保护和规范化培训提出更高要求。因此, 该技术未来发展的核心应是建立可复制、可评价、可推广的精准减压体系。

后续研究应重点开展多中心前瞻性随机对照试验, 比较单孔全内镜、双通道内镜、显微镜下椎间孔

切开术及 ACDF 的远期疗效、再手术率、节段稳定性和成本效益; 基于 MRI、CT 三维重建及神经/骨融合影像建立术前分型, 明确不同压迫类型的最佳入路和减压边界; 依托病例登记平台分析并发症、复发及学习曲线相关因素; 进一步验证导航、机器人、增强现实和智能训练系统在降低技术门槛、提升安全性方面的真实价值。只有在循证证据、技术规范、培训体系和长期随访共同完善的基础上, 经皮脊柱内镜才能成为神经根型颈椎病精准治疗中的成熟方案。

## 参考文献

- [1] Kazeminasab, S., Nejadghaderi, S.A., Amiri, P., Pourfathi, H., Araj-Khodaei, M., Sullman, M.J.M., *et al.* (2022) Neck Pain: Global Epidemiology, Trends and Risk Factors. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 26. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04957-4>
- [2] GBD 2021 Neck Pain Collaborators (2024) Global, Regional, and National Burden of Neck Pain, 1990-2020, and Projections to 2050: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Rheumatology*, **6**, e142-e155.
- [3] Tsalimas, G., Evangelopoulos, D.S., Benetos, I.S. and Pneumaticos, S. (2022) Dysphagia as a Postoperative Complication of Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *Cureus*, **14**, e26888. <https://doi.org/10.7759/cureus.26888>
- [4] Huang, X., Cai, Y., Chen, K., Ren, Q., Huang, B., Wan, G., *et al.* (2025) Risk Factors and Treatment Strategies for Adjacent Segment Disease Following Spinal Fusion (Review). *Molecular Medicine Reports*, **31**, Article No. 33. <https://doi.org/10.3892/mmr.2024.13398>
- [5] Huang, C., Fitts, J., Huie, D., Bhowmick, D.A. and Abd-El-Barr, M.M. (2024) Evolution of Cervical Endoscopic Spine Surgery: Current Progress and Future Directions—A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 2122. <https://doi.org/10.3390/jcm13072122>
- [6] Huo, L.Y., Yang, X.X., Feng, T.X., Li, Y.D. and Wang, P. (2022) Management of Cervical Spondylotic Radiculopathy: A Systematic Review. *Global Spine Journal*, **12**, 1912-1924. <https://doi.org/10.1177/21925682221075290>
- [7] Margetis, K., Magnus, W. and Mesfin, F.B. (2025) Cervical Radiculopathy. StatPearls.
- [8] Kim, M., Park, Y., Kang, C. and Choi, S.H. (2025) Cervical Spondylotic Myelopathy and Radiculopathy: A Stepwise Approach and Comparative Analysis of Surgical Outcomes: A Narrative Review of Recent Literature. *Asian Spine Journal*, **19**, 121-132. <https://doi.org/10.31616/asj.2024.0465>
- [9] Sarwan, G. and De Jesus, O. (2023) Electrodiagnostic Evaluation of Cervical Radiculopathy. StatPearls.
- [10] Wang, Y., Chen, X., Li, X., Wang, D., Rong, D., Sun, Z., *et al.* (2025) Magnetic Resonance Imaging in the Evaluation of Different Compression Locations in Patients with Cervical Spondylotic Radiculopathy. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **20**, Article No. 611. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05864-3>
- [11] Jiang, D., Lei, S., Hong, J., Lin, X., Chen, R., She, D., *et al.* (2025) Grading Cervical Neural Foraminal Stenosis via 3-T MR Nerve/Bone Fusion Imaging Compared with T2-Weighted Imaging. *Insights into Imaging*, **16**, Article No. 218. <https://doi.org/10.1186/s13244-025-02094-3>
- [12] Meacock, J., Smedley, A., Sinha, P., Igra, M., Macmullen-Price, J., Jayne, D., Stocken, D., Currie, S. and Thomson, S. (2025) Radiological Cervical Foraminal Stenosis Severity and Morphology as a Predictor of Pre-Operative Function and Functional Surgical Outcome. *British Journal of Neurosurgery*, **39**, 675-683. <https://doi.org/10.1080/02688697.2024.2376647>
- [13] 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>
- [14] Hagan, M.J., Remale, T., Leary, O.P., Feler, J., Shaaya, E., Ali, R., *et al.* (2022) Navigation Techniques in Endoscopic Spine Surgery. *BioMed Research International*, **2022**, Article ID: 8419739. <https://doi.org/10.1155/2022/8419739>
- [15] Lee, Y., Cho, D. and Kim, K. (2024) Navigation-Guided/Robot-Assisted Spinal Surgery: A Review Article. *Neurospine*, **21**, 8-17. <https://doi.org/10.14245/ns.2347184.592>
- [16] Sharma, A.K., de Oliveira, R.G., Suvithayasiri, S., Chavalparit, P., Chang, C.C., Kim, Y.H., *et al.* (2025) The Utilization of Navigation and Emerging Technologies with Endoscopic Spine Surgery: A Narrative Review. *Neurospine*, **22**, 105-117. <https://doi.org/10.14245/ns.2449404.702>
- [17] Ahn, Y. (2023) Anterior Endoscopic Cervical Discectomy: Surgical Technique and Literature Review. *Neurospine*, **20**, 11-18. <https://doi.org/10.14245/ns.2346118.059>
- [18] Kim, J.Y., Hong, H.J., Lee, D.C., Kim, T.H., Hwang, J.S. and Park, C.K. (2022) Comparative Analysis of 3 Types of

- Minimally Invasive Posterior Cervical Foraminotomy for Foraminal Stenosis, Uniportal-, Biptortal Endoscopy, and Microsurgery: Radiologic and Midterm Clinical Outcomes. *Neurospine*, **19**, 212-223. <https://doi.org/10.14245/ns.2142942.471>
- [19] Kang, M., You, K., Han, S., Park, S., Choi, J. and Park, H. (2022) Percutaneous Full-Endoscopic versus Biptortal Endoscopic Posterior Cervical Foraminotomy for Unilateral Cervical Foraminal Disc Disease. *Clinics in Orthopedic Surgery*, **14**, 539-547. <https://doi.org/10.4055/cios22050>
- [20] Lee, S.H., Seo, J., Jeong, D., Hwang, J.S., Jang, J., Cho, Y.E., et al. (2024) Clinical Outcomes and Complications of Unilateral Biptortal Endoscopic Posterior Cervical Foraminotomy: A Systematic Review and Meta-Analysis with a Comparison to Full-Endoscopic Posterior Cervical Foraminotomy. *Neurospine*, **21**, 807-819. <https://doi.org/10.14245/ns.2448430.215>
- [21] Kang, M., Park, H., Park, S., You, K. and Ju, W. (2023) Learning Curve for Biptortal Endoscopic Posterior Cervical Foraminotomy Determined Using the Cumulative Summation Test. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **18**, Article No. 146. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-03611-0>
- [22] Zhang, J., Zhou, Q., Yan, Y., Ren, J., Wei, S., Zhu, H., et al. (2022) Efficacy and Safety of Percutaneous Endoscopic Cervical Discectomy for Cervical Disc Herniation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **17**, Article No. 519. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03365-1>
- [23] Alomar, S.A., Maghrabi, Y., Baesa, S.S. and Alves, Ó.L. (2022) Outcome of Anterior and Posterior Endoscopic Procedures for Cervical Radiculopathy Due to Degenerative Disk Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Global Spine Journal*, **12**, 1546-1560. <https://doi.org/10.1177/21925682211037270>
- [24] Guo, L., Wang, J., Zhao, Z., Li, J., Zhao, H., Gao, Y., et al. (2023) Microscopic Anterior Cervical Discectomy and Fusion versus Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Keyhole Foraminotomy for Single-Level Unilateral Cervical Radiculopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Spine Surgery*, **36**, 59-69. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001327>
- [25] Rajjoub, R., Nguyen, R., Ghaith, A.K., El-Hajj, V.G., De Biase, G., Onyedimma, C., et al. (2024) Minimally Invasive Posterior Cervical Foraminotomy versus the Anterior Transcorporeal Approach for Cervical Radiculopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **41**, 508-518. <https://doi.org/10.3171/2024.5.spine2497>
- [26] Almasi, A., Jafari, S., Solouki, L. and Darvishi, N. (2023) The Best Surgical Treatment for Cervical Radiculopathy: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Advanced Biomedical Research*, **12**, 191. [https://doi.org/10.4103/abr.abr\\_251\\_22](https://doi.org/10.4103/abr.abr_251_22)
- [27] Yao, R., Yan, M., Liang, Q., Wang, H., Liu, Z., Li, F., et al. (2022) Clinical Efficacy and Learning Curve of Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Laminoforaminotomy for Patients with Cervical Spondylotic Radiculopathy. *Medicine*, **101**, e30401. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000030401>
- [28] Sun, X., Zhan, L., Tang, Z., Shen, M., Ma, H. and Tan, J. (2025) Clinical Efficacy and Learning Curve of Percutaneous Endoscopic Cervical Discectomy for Symptomatic Cervical Spondylotic Radiculopathy. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **20**, Article No. 138. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05530-8>
- [29] Sun, X., Wang, C., Kong, Q., Zhang, B., Feng, P., Liu, J., et al. (2024) Channel-assisted Cervical Key Hole Technology Combined with Ultrasonic Bone Osteotome versus Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Foraminotomy: A Clinical Retrospective Study. *International Orthopaedics*, **48**, 547-553. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05991-8>
- [30] Zhang, Y., Dai, J., Dai, G., Zhan, W., Wang, Y. and Hu, P. (2025) Comparison of Clinical Efficacy of Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Discectomy versus Unilateral Biptortal Endoscopy Key-Hole Techniques for Cervical Spondylotic Radiculopathy: A Retrospective Study with 2 Years. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **20**, Article No. 200. <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05617-2>
- [31] Zhang, P., Jin, Y., Zhu, B., Zheng, M., Ying, X. and Zheng, Q. (2023) Unilateral Biptortal Endoscopic Foraminotomy and Discectomy Combined with Piezosurgery for Treating Cervical Spondylotic Radiculopathy with Neuropathic Radicular Pain. *Frontiers in Neurology*, **14**, Article 1100641. <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1100641>
- [32] Shi, C.G., et al. (2021) Clinical Outcomes of Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Foraminotomy and Discectomy Assisted with SNRB in Treating Cervical Radiculopathy with Diagnostic Uncertainty. *Pain Physician*, **24**, E483-E492. <https://doi.org/10.36076/ppj.2021.24.E483>
- [33] Paik, S., Choi, Y., Chung, C.K., Won, Y.I., Park, S.B., Yang, S.H., et al. (2023) Cervical Kinematic Change after Posterior Full-Endoscopic Cervical Foraminotomy for Disc Herniation or Foraminal Stenosis. *PLOS ONE*, **18**, e0281926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281926>
- [34] Wang, X., Li, T., Li, Y. and Long, Y. (2025) Posterior Percutaneous Endoscopic Cervical Discectomy for Single-Segment Cervical Spondylotic Radiculopathy: A Retrospective Study with Minimum 3-Year Follow-Up. *Journal of Pain Research*, **18**, 2879-2888. <https://doi.org/10.2147/jpr.s519127>
- [35] Monk, S.H., Hani, U., Pfortmiller, D., Dyer, E.H., Smith, M.D., Kim, P.K., et al. (2023) Anterior Cervical Discectomy

- and Fusion versus Microendoscopic Posterior Cervical Foraminotomy for Unilateral Cervical Radiculopathy: A 1-Year Cost-Utility Analysis. *Neurosurgery*, **93**, 628-635. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000002464>
- [36] The Dinh, H., Ngoc Dinh, S., Hoang Nguyen, L., Manh Do, H., Van Nguyen, T. and Van Vu, C. (2025) Clinical and Radiological Outcomes of Single-Level Full Endoscopic Posterior Cervical Foraminotomy and Herniectomy: A 12 Months Follow-Up. *Orthopedic Research and Reviews*, **17**, 517-529. <https://doi.org/10.2147/orr.s554908>
- [37] Kwon, H. and Park, J. (2023) The Role and Future of Endoscopic Spine Surgery: A Narrative Review. *Neurospine*, **20**, 43-55. <https://doi.org/10.14245/ns.2346236.118>
- [38] Hahn, B. and Park, J. (2021) Incorporating New Technologies to Overcome the Limitations of Endoscopic Spine Surgery: Navigation, Robotics, and Visualization. *World Neurosurgery*, **145**, 712-721. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.06.188>
- [39] Schmidt, B.T., Chen, K., Kim, J. and Brooks, N.P. (2024) Applications of Navigation in Full-Endoscopic Spine Surgery. *European Spine Journal*, **33**, 429-437. <https://doi.org/10.1007/s00586-023-07918-8>
- [40] Yuh, W.T., Lee, Y.S. and Choi, I.H. (2023) Future of Endoscopic Spine Surgery: Insights from Cutting-Edge Technology in the Industrial Field. *Bioengineering*, **10**, Article 1363. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10121363>
- [41] Hellinger, S., Knight, M., Telfeian, A.E. and Lewandrowski, K. (2022) Patient Selection Criteria for Percutaneous Anterior Cervical Laser versus Endoscopic Discectomy. *Lasers in Surgery and Medicine*, **54**, 530-539. <https://doi.org/10.1002/lsm.23514>
- [42] Gunjotikar, S., et al. (2024) Evolution, Current Trends, and Latest Advances of Endoscopic Spine Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article No. 3208. <https://doi.org/10.20944/preprints202404.1095.v1>
- [43] Lokhande, P.V. (2023) Full Endoscopic Spine Surgery. *Journal of Orthopaedics*, **40**, 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2023.04.010>
- [44] Chen, K., Kim, J., Huang, A.P., Lin, M.H. and Chen, C. (2023) Current Indications for Spinal Endoscopic Surgery and Potential for Future Expansion. *Neurospine*, **20**, 33-42. <https://doi.org/10.14245/ns.2346190.095>
- [45] Burkett, D. and Brooks, N. (2024) Advances and Challenges of Endoscopic Spine Surgery. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 1439. <https://doi.org/10.3390/jcm13051439>
- [46] 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>