

• 综述 •

# 脊柱内镜领域的相关技术发展及术后的康复预防策略

侯丽媛,李少荣(综述),赵伟,张为\*(审校)

(河北医科大学第三医院脊柱三科,河北石家庄 050051)

**[摘要]** 内窥镜器械的技术发展和演变,使得通过经皮脊柱内镜腰椎间盘切除术(percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD)和单边双通道内镜技术(unilateral biportal endoscopy, UBE)已经成为腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)的常用治疗方法之一。相比传统开放手术,内镜技术对于局部组织的创伤较小使得术后的患者能够实现早期下床、快速恢复和更早出院。脊柱内镜手术的诸多优势提高了患者的满意度,但术后过早从事日常活动和不合理的锻炼可能导致更高的复发率、更长的疼痛持续时间,甚至影响治疗效果,这值得引起医生的重视。因此,现总结了近些年来脊柱内镜技术的发展和临床应用的同时也介绍了目前常用的促进术后恢复的早期康复方法。

**[关键词]** 内窥镜检查;脊柱内镜;术后康复;微创

**[中图分类号]** R443.7 **[文献标志码]** A

doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.12.019

**[文章编号]** 1007-3205(2024)12-1470-06

目前腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)的治疗策略首先是通过非手术治疗控制疾病进展和缓解症状,例如药物治疗、功能锻炼、按摩和针灸等。一些患者需要长期服用非甾体抗炎药物,甚至是需要阿片类药物缓解疼痛症状,但长期使用此类药物容易发生胃肠道不适和成瘾性等药物并发症<sup>[1-2]</sup>。非手术治疗无效后将进行手术治疗,主要包括以脊柱内镜为代表的微创手术治疗和传统的开放手术治疗。20世纪末期脊柱内镜技术刚处于起步阶段,当时主要以传统的开放手术治疗为主。近些年来,随着内窥镜设备、器械和技术的发展成熟,经皮内镜腰椎间盘切除术(percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD)和单边双通道内镜技术(unilateral biportal endoscopy, UBE)已经广泛应用于LDH疾病的治疗。这种技术的优势主要是因为创伤较小、术后能够早期下床活动和快速康复<sup>[3]</sup>。研究<sup>[4]</sup>表明虽然内镜手术后进行下背部肌锻炼对机体功能恢复至关重要,但是手术后过早从事日常活动可能导致更高的复发率、更长的疼痛持续时间,甚至影响手术治疗效果。目前在内镜手术后的早期阶段,选择早期锻炼的节点和回归生活

工作的时间仍有待讨论。本文介绍脊柱内镜技术的发展、应用、影响复发的因素以及术后的康复策略,旨在引起术者对于术后复发和早期康复问题的关注。

## 1 脊柱内镜的历史发展

内窥镜技术在脊柱手术中的应用可追溯到20世纪70年代,这项技术最早于由Kambin和Hijikata首创。后来在20世纪90年代引入了Yeung氏内窥镜技术,标志着脊柱内窥镜进步的一个重要里程碑,其也被称为杨氏内窥镜脊柱系统<sup>[5]</sup>。Yeung氏技术主要通过安全三角进入椎间盘区域内进行间接减压,但是其对于解除神经根压迫的效果不确切。此时期的脊柱内窥镜技术专注于解决简单的椎间盘疾病,如椎间盘突出和纤维环破裂等<sup>[6]</sup>。2002年Thomas HoogLand教授在杨氏技术的基础上发展,首次报道了经过椎间孔成形技术进入椎管内直接进行神经减压的Thessys技术。由于在能够在镜下直视神经以及摘除突出的髓核,因此此阶段的内镜技术已经能达到良好的治疗效果。相比开放手术单通道脊柱内窥镜的发明允许患者在局部麻醉下接受微创手术,较小的切口明显地减少了术后的疼痛和加快了切口的恢复<sup>[7]</sup>。近些年来,随着内镜技术和器械的发展,国内众多学者在椎间孔镜技术基础上又产生了很多技术流派,例如BEIS技术和筒式技术。随着以上脊柱内窥镜技术的开发和脊柱外科医生的不断学习,单通道脊柱内镜已被广泛应用

**[收稿日期]** 2024-09-26

**[基金项目]** 河北省青年科技课题(20210648);河北医科大学创新研究团队项目

**[作者简介]** 侯丽媛(1987—),女,河北石家庄人,河北医科大学第三医院主管护师,医学学士,从事脊柱外科疾病护理研究。

\* 通信作者。E-mail:33700332@hebm.u.edu.cn

并取得了较为满意的临床效果。

随着微创脊柱外科的发展,单通道的内窥镜技术也暴露出了一些劣势。脊柱外科医生逐渐发现 PELD 技术涉及视野和工作通道同轴性的重大缺陷。这些缺点具体包括缺乏三维角度的视野、视角狭窄以及在手术摘除髓核期间会占用通道空间,并且由于通道的直径限制,不能使用手术所需的专用手术设备。一般来说,单通道内窥镜适用于治疗轻度椎间盘突出和椎管狭窄的患者。然而,从临床实践的角度来看,在 L<sub>2~3</sub> 和 L<sub>3~4</sub> 节段中较大的中央椎间盘突出和在 L<sub>4~5</sub> 和 L<sub>5</sub>~S<sub>1</sub> 节段中具有长脱垂距离的椎间盘突出通常难以使用单通道脊柱内窥镜进行操作。研究<sup>[8]</sup>显示,20 世纪 90 年代最初应用了 UBE 技术来解决以上问题。UBE 技术通过同侧的 2 个小切口建立观察和操作的 2 个通道。内窥镜被插入到观察通道中以直接观察手术区域,器械和工具被插入到手术通道中,用于脊椎管内和脊椎管周围的多种外科手术操作<sup>[9]</sup>。双通道分离的特征使其具有视野清晰开阔、操作灵活方便、对手术器械要求简单等优点<sup>[10]</sup>。此外,UBE 提供了专用于不同手术器械的独立通道,使得在手术过程中很少发生手术器械冲突问题,并且开放手术的器械也能适配使用。因此,UBE 也大大提高了手术中椎板和黄韧带切除的清晰度和效率,也增加了微创手术的适应证。

自 20 世纪 70 年代末和 80 年代初以来,内窥镜脊柱手术的技术创新一直在不断发展创新并且拓宽了它们的应用<sup>[11]</sup>。近些年来,伴随着更小工作通道的内窥镜、高速钻头和可视化环锯等辅助器械以及可膨胀的椎体间融合器的出现极大地增加了可以通过内窥镜进行的手术类型,并且脊柱外科的手术理念也从开放性手术向微创化转变<sup>[12]</sup>。因此在微创理念和内窥镜技术的支持下,有学者将 UBE 技术首先应用于腰椎间融合手术,其与传统开放手术相比具有手术创伤更小、局部疼痛更轻、失血量更少等优点,并且近年来临床研究和荟萃分析也证实了微创腰椎间融合术的有效性和安全性<sup>[13]</sup>。如今,微创化已经成为现代脊柱外科手术的一种趋势。随着科技发展和手术器械的革新,内窥镜技术已经发展为多种技术方法并且应用于较多的场景。目前在腰椎节段的适应证包括各类型的 LDH,例如中央型、外侧型、极外侧型,伴有黄韧带钙化和关节突增生的椎管狭窄症、腰椎间盘突出以及椎间融合术后导致的邻椎病的应用<sup>[14]</sup>。此外,脊柱内镜也还可以用于伴有马尾综合征的重度 LDH 患者,尤其适用于需进行二次翻修手术的患者<sup>[15-17]</sup>。对于翻修手术而言,

脊柱内镜既能避开前次手术引起的瘢痕粘连,又能有效缓解神经根受到的压迫,减轻疼痛症状和促进肢体功能的恢复,进而提高此类患者的生活质量。

## 2 脊柱内镜的技术创新

从脊柱内镜发展进程上看,其快速的发展与内镜技术相关的科技创新向医疗领域转化息息相关,因此通过转化相关领域的新技术应用于脊柱内镜手术将是未来的研究内容之一。近些年来一些先进仪器和设备的研发和引进促进了微创脊柱技术的发展。此前,由于脊柱内镜穿刺定位及椎间孔成形技术有较高的难度,导致其对于年轻医生有一个陡峭的学习曲线<sup>[18]</sup>。随着医学技术的进步与科技发展,一些新仪器与实用工具逐步应用到了微创脊柱手术中,并且降低了较高的技术门槛与学习曲线。目前脊柱内镜手术主要的技术难度在于椎间孔定位穿刺与成形,在可视化环境下镜头与器械进入椎管后的减压步骤相对容易学习。因此,以下主要介绍目前一些新技术与工具在脊柱内镜手术中的应用。

**2.1 定位技术** 对于脊柱内镜手术来讲,椎间孔的定位穿刺不仅是手术的第一步骤,也是十分重要的一环。这需要术者有丰富的解剖知识和微创手术经验,由此也提高了内镜手术的技术门槛。目前临床上主要使用 C 臂机透射辅助完成椎间孔定位,但此过程容易导致过长的手术时间和射线暴露<sup>[19]</sup>。相比之下,导航技术为椎间孔定位提供了高度准确的实时解剖信息和指导,这是 C 臂透视所不能满足的<sup>[20]</sup>。导航技术可以帮助术者计算最佳入路和设计理想的切口,并在 UBE 术中帮助确认手术器械的准确位置。通过精准的定位能够显著地减少手术时间、辐射暴露和提高手术的安全性,并有助于克服内镜手术陡峭的学习曲线<sup>[21]</sup>。

增强现实(augmented reality, AR)技术是一种结合现实世界和计算机生成内容的交互式体验,并且这项技术正在逐步渗透到医疗保健和脊柱外科领域。传统的计算机辅助脊柱导航系统主要有使术者注意力转移和视线限制的缺点。而 AR 可以作为手术室导航系统的辅助工具用以增强导航系统的可视化效果。AR 技术允许同步可视化手术区域图像和导航数据,一定程度上提高了导航系统的使用效果并且解决了传统的导航系统在视图可视化方面的局限性。此外,AR 技术也能单独应用于脊柱内镜的可视化,并且使用体验明显高于传统内镜手术<sup>[22]</sup>。

除导航系统与 AR 之外,手术机器人技术辅助穿刺定位在脊柱内镜也有所应用。此前机器人技术

主要应用于脊柱椎弓根螺钉置入,其和导航系统有重叠的功能。随着微创理念的普及,脊柱外科医生发现机器人技术能够提供精确的解剖指导从而将内窥镜精确定位在理想的位置。Wang 等<sup>[23]</sup>在全内窥镜腰椎间盘切除术中应用了机器人技术进行辅助,并且结果验证了其具有良好的安全性和有效性,可作为传统内窥镜手术的替代方案。机器人技术也有望帮助年轻医生克服脊柱内镜手术陡峭的学习曲线,并且机器人代替操作能够节省术者体力以减少手术的不确定性和影响手术的额外因素。目前临床中的辅助定位相关技术旨在帮助年轻医生克服内镜手术的技术门槛,提高精准定位和降低辐射暴露。因此不同的定位技术不仅给术者提供了多种选择,也还促进了学者们的深入学习与研究。未来伴随着电子科技领域的创新,更方便高效的定位技术也将融入内镜技术中。

**2.2 椎间孔成形工具** LDH 患者往往伴有椎间孔区域的狭窄,这将导致脊柱内镜和器械的置入十分困难,因此椎间孔成形扩大技术是必要的。这项技术的关键在于如何安全有效去除椎间孔附近的部分关节突骨质以方便内镜通道的置入和扩大术野范围<sup>[24]</sup>。由于工作通道建立的重要性,因此镜下扩大成形工具在脊柱内镜手术中起着至关重要的作用。由于在脊柱内窥镜手术中,椎间孔成形是在水基质环境中进行的,快速排出钻孔过程中产生的骨性碎末以保持手术区域的清洁是至关重要的。为了实现这一点,通过水流保持平稳流出是必不可少的,因此工具的防水能力显得尤为重要<sup>[25]</sup>。此外,椎间孔成形还需要考虑镜下对于附近神经血管的保护,这对于工具的安全性提出了挑战。目前临床中比较适用的工具包括动力骨钻、可视环锯和超声骨刀等。相比于内镜手术初期使用的普通磨钻与环锯,这些工具相对提升了镜下的截骨效率和安全性,更加符合内镜手术的需要。

磨钻是常用的椎间孔成形工具之一,其较高的安全性受到众多脊柱外科医生的喜爱。相比于普通磨钻,动力磨钻具有较高的转速,这一特性对于椎间孔附近骨质的损伤较小并且导致骨面的出血相对较少。此外,动力磨钻对骨质的截取范围也更加精确,能够在一定程度上避免因过度去除骨质引起的腰椎失稳。张国强等<sup>[26]</sup>研究表明采用动力磨钻辅助下的经皮全可视化脊柱内镜下经治疗 LDH 取得了较为满意的手术疗效,可视化与动力磨钻相结合使得手术时间较短、操作更加安全、并发症少且患者康复快。这也表明了动力磨钻的使用在加快手术效率和

减少并发症方面具有一定的作用。目前可视环锯已广泛应用于椎间孔成形术,其优势是当置入内镜工作通道后无需逐级盲视即可进行椎间孔成形操作,很大程度上减少了使用 C 臂透视的次数。此外,术者能够在内镜通道下根据需要的术野范围进行多次旋转扩大成形,对于在允许的范围内具有一定的可调节性<sup>[27]</sup>。Li 等<sup>[28]</sup>研究表明正常 7.5 mm 直径的可视环锯在大多数情况下足可进行单次截骨,以完成内窥镜下骨减压,而不会损伤相邻的神经血管。对于术野有较大需求的可使用 14 mm 大直径可见环锯,其具有更快的截骨效率,能够明显缩短手术时间,尤其是内窥镜下的骨减压时间。超声骨刀是利用高频超声技术实现对骨和钙化等硬组织的高效率切割,而不会伤及神经和血管等软组织。超声骨刀的使用操作较为简单,对于截骨的区域比较精确,而且切割骨界面产生的热量可使局部微血管收缩,这将有利益于维持镜下清晰的术野<sup>[29]</sup>。虽然超声骨刀相对其他工具具有明显的优势,但是其昂贵的价格使得难以在下级医院和一般患者中普及。因此对于脊柱内镜技术而言,不同成形工具只是提供了更多的选择,实际情况下术者更需要结合病情需要和地区条件而使用最适宜的工具。

### 3 术后复发的危险因素

脊柱内镜手术对局部组织的干扰和破坏较小,这对于术后的早期下床活动提供了便利。但是目前临床中过早的活动与不标准的康复策略导致了术后的 LDH 复发问题,因此明确影响复发的因素和进行合理的干预对于提高手术的效果具有重要的意义<sup>[30]</sup>。研究数据表明 PELD 术后 LDH 的复发率范围为 0%~12.5%,并且复发的腰椎间盘突出症通常需要二次手术解决。此外,PELD 术后硬膜外纤维化和瘢痕形成导致的二次手术较为复杂,并且二次手术会增加患者的心理痛苦<sup>[31]</sup>。因此从术后及时预防 LDH 复发的角度出发比实施二次手术相对更加容易。目前许多研究已经对影响 PELD 术后复发的因素进行了深入研究,并且已经明确了一些明确的影响因素。这其中就包括年龄、体重指数、椎间盘退变程度、手术方法、过早下床活动、术后不稳定或过度活动等。目前还有一些具有争议的影响因素,仍需要更多的研究验证。

临床中绝大多数的患者在术后过早地下床活动和参与日常工作,这是导致术后 LDH 复发的重要因素之一。早期参与日常活动可能会增加腰椎的负荷,当从仰卧位到站立位,椎间盘内压力将显著增

加,并且若身体处于屈曲位时可进一步增加椎间盘内压力增加LDH的复发风险。不良的姿势和习惯引起椎间盘内压力的变化会导致髓核组织通过纤维环裂口重新进入椎管并诱发临床症状,这可视为复发性LDH的病理基础<sup>[32]</sup>。Liang等<sup>[4]</sup>研究表明在PELD术后早期限制下床活动时间可以降低复发率,这一结果也同以上的复发因素一致。其中的原因主要是由于PELD术中取出髓核组织后对纤维环缺损仍未修复,椎间盘内压力的变化超过了不完整椎间盘的承受范围。从生物力学的角度来看,与完整椎间盘相比纤维环损伤后显著改变了几个生物力学参数,如轴向运动范围、扭转刚度、扭矩范围等。随着椎间盘的修复,一些生物力学参数逐渐恢复,表明纤维环的修复在一定程度上提高了其稳定性<sup>[33]</sup>。因此,通过限制术后早期下床活动的时间和强度是必要的,一方面可以通过降低椎间盘压力减少复发,另一方面可以提高椎间盘内组织的修复效率,重建外纤维环以尽早恢复生物力学稳定性,从而降低复发率。

除了过早的下床活动外,PELD术后影响下腰痛或下肢放射性疼痛复发的因素仍有许多。一些其他可能的预测因素包括性别、吸烟史、伴有Modic改变和术中减压程度等,但是这些因素的作用目前尚有争议<sup>[34]</sup>。Wang等<sup>[35]</sup>研究表明高年龄、男性、较高的体重指数、繁重的工作、Ⅱ级小关节退变和早期下床活动是LDH复发的独立危险因素。患者应高度重视这些危险因素进行预防,并且这些危险因素与LDH复发之间的机制需要进一步研究。同时,一些外部因素或不正确的术后康复锻炼可能对术后复发起着关键作用。但是不管是否伴有其他影响因素,早期下地行走和不恰当的康复肯定会使椎间盘在腰椎手术后过早承受负荷,这对于术后效果有一定的影响,对此应给予适当的关注。

#### 4 术后的康复预防

近些年来随着腰椎微创手术技术的迅速发展,许多LDH患者已经通过脊柱内镜技术得到有效的治疗。虽然通过手术去除了压迫神经根的髓核组织,但是患者的运动功能恢复仍需要进行针对性治疗。术后合理的康复活动不仅能够恢复肌力量,减少术后的并发症。但是不合理的锻炼和康复往往会增加LDH的复发风险,因此根据患者的具体病情和手术过程制定个体化康复计划显得尤为重要。术中切除突出的椎间盘、相应的黄韧带和关节突导致的局部不稳定是需要物理治疗和康复来改善的重要

的目标,如增加下背部肌的力量以补偿手术部位的损伤,防止相邻节段的退化和不稳定<sup>[36]</sup>。

目前对于具体的术后早期康复护理内容主要从术后训练、心理疏导、饮食指导和健康宣教等4个方面进行,其中重点是正确的术后训练和健康宣教<sup>[37]</sup>。李明琴等<sup>[38]</sup>研究中对LDH患者行局部麻醉下椎间孔镜手术治疗后辅以合理的早期康复护理使得早期康复组中患者的VAS评分显著降低,并且患者得满意度也明显高于对照组。术后的早期康复训练不仅有利于促进患者腰背部和下肢的血液循环,还可以改善肌萎缩状况,促进患肢肌力和功能恢复。康复训练的内容主要是在术后的6h开始进行,医护人员可指导患者在病床上进行双下肢的各肌群的被动活动训练。具体训练方法是首先帮助患者取仰卧位,针对双下肢肌群进行等长舒缩训练,顺序位按从上至下,从左至右依次进行。这一过程中每组肌群等长收缩持续5~10s,频率为40~50次/组,组间的间隔时间为30~60min。其次是指导患者取仰卧位进行足踝趾以及踝关节的背伸运动训练,时间及频次同前。手术后第1天时可进行下肢肌和腰背肌的康复训练,医护人员指导患者取仰卧位后将双手臂伸直并置于身体两侧,保持双下肢的并拢并且将手术侧肢体进行抬高锻炼,频率为20~30次/d,每次抬高20°~30°<sup>[39]</sup>。

此外,根据术后不同时间段建立不同的康复策略也非常重要。术后早期主要进行下肢肌群的被动活动以减小卧床影响。此后在纤维环修复后逐渐进行腰背肌的功能锻炼进而增加脊柱稳定性和恢复患侧肢体功能。目前对于腰背肌的锻炼主要通过以下3种方法:五点支撑训练:指导患者取仰卧位后以双足、双手以及头部作为支点,将腰背部挺直腾空,每次持续10s,频率为10次/组。三点支撑训练:指导患者取仰卧位后将双上肢置于胸前,以头部和双足作为支撑点使背部挺直腾空,频率和时间同前。飞燕式训练:指导患者取俯卧位后将双侧上肢置于躯体两侧后上抬头部的同时将双下肢伸直并上抬,每组持续4~5s,频率为10次/组。以上的康复训练方法需根据患者腰背部的具体疼痛情况而调整训练次数及频率<sup>[39-40]</sup>。Lyu等<sup>[41]</sup>研究开发了一个分阶段的康复计划,该计划根据手术后的不同时期而设定不同的康复运动。结果表明在第6周和第12周时分期康复组表现出明显的下腰痛和腰椎功能改善,这表明该方案促进了患者术后肢体功能恢复的速度。第12周时分期组步态的左右支撑时相比显著高于常规组,并且分期组的下腰痛和腰椎功能评

估结果优于对照组,这表明分期康复方案的应用产生了有效的临床效果。因此,将术后肌的主被动活动训练和分阶段的康复计划相结合用以提高LDH患者术后功能的恢复和预防复发是良好的选择。

术后必要的健康宣教对于预防LDH复发也是十分重要的。医护人员应将LDH和脊柱内镜手术治疗的相关知识告知患者,指导其在日常生活中保持正确的坐姿、站姿以及行走姿势,并且注意避免长时间保持同一姿势,以免不良姿势导致加重腰椎退行性变化。这些内容在住院期间的发生概率较低,但是在患者出院后的日常生活之中是高频影响因素。不良的生活习惯和姿势导致腰椎负荷加重,容易导致已经破裂的纤维环中的髓核组织再次突出,提示尤其在纤维环修复的过程中更要使患者注意平时对腰椎的保护。

## 5 结 论

目前脊柱内镜技术发展迅速并且已经日趋成熟,其在脊柱外科领域的应用也越来越广泛,除LDH外,近些年来脊柱内镜技术在一些其他的脊柱疾病中也有一定的应用。相比于腰椎融合手术,脊柱内镜手术后创伤较小、术后恢复较快和住院时间较短使得患者有较高的满意度。因此对于在其手术适应症内的患者首选内镜治疗是最佳的选择。在看到脊柱内镜技术的诸多优势时,也要对其术后复发问题引起重视。通过科学研究分析影响其复发的危险因素,通过术前合理评估,术中个体化规划与合理的术后康复策略也是脊柱内镜技术重要的工作内容。此外,早期康复的理念不仅仅适用于微创手术,亦符合现代医疗临床践行的快速康复理念,其在临床治疗过程中应该引起更多的关注。

## [参考文献]

- [1] Qu L, Wang Y, Wang F, et al. Surgical outcomes of percutaneous endoscopic lumbar discectomy in obese adolescents with lumbar disc herniation [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1):710.
- [2] Zhang J, Li Q, Du Y, et al. Efficacy analysis of percutaneous endoscopic spinal surgery for young patients with discogenic low back pain[J]. *J Pain Res*, 2022, 15:665-674.
- [3] Yu L, Zhu B, Dong H, et al. Does immediate postoperative early ambulation affect clinical results of full-endoscopic lumbar discectomy? A historical control study of daytime operation with a 8-hour hospital stay versus inpatient operation[J]. *Orthop Surg*, 2023, 15(9):2354-2362.
- [4] Liang X, Wang Y, Yue Y, et al. Whether out-of-bed activity restriction in the early postoperative period of PELD is beneficial to therapeutic efficacy or reduce recurrence[J]. *Front Surg*, 2022, 9:860140.
- [5] Zhao XB, Ma HJ, Geng B, et al. Percutaneous endoscopic unilateral laminotomy and bilateral decompression for lumbar spinal stenosis[J]. *Orthop Surg*, 2021, 13(2):641-650.
- [6] Cheng SH, Lin YT, Lu HT, et al. The evolution of spinal endoscopy: design and image analysis of a single-use digital endoscope versus traditional optic endoscope [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2024, 11(1):99.
- [7] Khandge AV, Sharma SB, Kim JS. The evolution of transforaminal endoscopic spine surgery [J]. *World Neurosurg*, 2021, 145:643-656.
- [8] Han H, Song Y, Li Y, et al. Short-term clinical efficacy and safety of unilateral biportal endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of lumbar degenerative diseases: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):656.
- [9] Chu PL, Wang T, Zheng JL, et al. Global and current research trends of unilateral biportal endoscopy/biportal endoscopic spinal surgery in the treatment of lumbar degenerative diseases: a bibliometric and visualization study [J]. *Orthop Surg*, 2022, 14(4):635-643.
- [10] Yang L, Zhou L, Wang G, et al. Unilateral Bi/Multi-portal endoscopy for the treatment of complicated lumbar degenerative diseases with utilization of uniaxial spinal endoscope, instead of arthroscope: technique note and clinical results [J]. *Clin Interv Aging*, 2023, 18:1295-1308.
- [11] Simpson AK, Lightsey HM 4th, Xiong GX, et al. Spinal endoscopy: evidence, techniques, global trends, and future projections [J]. *Spine J*, 2022, 22(1):64-74.
- [12] Hussain I, Hofstetter CP, Wang MY. Innovations in spinal endoscopy [J]. *World Neurosurg*, 2022, 160:138-148.
- [13] Li X, Liu J, Liu Z. Comparison of the results of open PLIF versus UBE PLIF in lumbar spinal stenosis: postoperative adjacent segment instability is lesser in UBE [J]. *J Orthop Surg Res*, 2023, 18(1):543.
- [14] Ahn Y. A Historical review of endoscopic spinal discectomy [J]. *World Neurosurg*, 2021, 145:591-596.
- [15] Chen KT, Kim JS, Huang AP, et al. Current indications for spinal endoscopic surgery and potential for future expansion [J]. *Neurospine*, 2023, 20(1):33-42.
- [16] Xue J, Chen H, Zhu B, et al. Percutaneous spinal endoscopy with unilateral interlaminar approach to perform bilateral decompression for central lumbar spinal stenosis: radiographic and clinical assessment [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22(1):236.
- [17] Zhang F, Ye D, Zhang W, et al. Efficacy of lumbar decompression under large-channel spinal endoscope in elderly patients with segmental lumbar spinal stenosis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2024, 19(1):16.
- [18] Hussain I, Yeung AT, Wang MY. Challenges in spinal endoscopy [J]. *World Neurosurg*, 2022, 160:132-137.

- [19] Kim SK, Park CW, Olama MA, et al. Preoperative dyeing technique for decreasing radiation exposure in unilateral biportal endoscopic spine surgery [J]. *World Neurosurg*, 2023,175:e455-e464.
- [20] Kwon H, Park JY. The role and future of endoscopic spine surgery: a narrative review[J]. *Neurospine*, 2023, 20(1):43-55.
- [21] Pertile ME, de Assunção Bicca Y, Maccari PM, et al. Flores de Barros Vasconcelos Fernandes Serra MV. Advancing education in endoscopic spinal navigation: novel methods and technical note[J]. *Cureus*, 2023,15(4):e37017.
- [22] Jamshidi AM, Makler V, Wang MY. Augmented reality assisted endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion: 2-dimensional operative video [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021,21(6):E563-E564.
- [23] Wang Z, Tan Y, Fu K, et al. Minimally invasive trans-superior articular process percutaneous endoscopic lumbar discectomy with robot assistance[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1):1144.
- [24] Zhu G, He J, Song Z, et al. Foraminoplasty performed with a trephine and a new tool in transforaminal endoscopic lumbar discectomy: a single-center retrospective study[J]. *Orthop Surg*, 2024,16(2):420-428.
- [25] Yuh WT, Lee YS, Jeon JH, et al. Future of endoscopic spine surgery: insights from cutting-edge technology in the industrial field [J]. *Bioengineering (Basel)*, 2023, 10(12):1363.
- [26] 张国强, 杨雍, 谢学虎, 等. 全可视化脊柱内镜辅助动力磨钻经椎板间入路治疗腰椎间盘突出症的近期疗效[J]. *颈腰痛杂志*, 2022,43(4):500-504.
- [27] 迟文鑫, 张存鑫, 吕超亮, 等. 脊柱内镜在腰椎椎间孔成形技术中的临床应用[J]. *医学信息*, 2024,37(3):169-175.
- [28] Li K, Yan TZ, Lu ZA, et al. Utility of large diameter visible trephine in percutaneous endoscopic lumbar interbody fusion: a technical report [J]. *World Neurosurg*, 2022, 167:e1253-e1260.
- [29] 韩佳骆, 马学晓, 周传利, 等. 采用超声骨刀辅助椎板间入路脊柱内镜治疗重度钙化型腰椎间盘突出症的疗效观察[J]. *骨科临床与研究杂志*, 2024,9(1):4-10.
- [30] Shepard NA, Protosaltis T, Kim Y. Lumbar endoscopic spine surgery a comprehensive review[J]. *Bull Hosp Jt Dis (2013)*, 2021,79(1):35-42.
- [31] Pan YH, Wan D, Wang Q, et al. Association of spinal-pelvic parameters with recurrence of lumbar disc herniation after endoscopic surgery: a retrospective case-control study [J]. *Eur Spine J*, 2024,33(2):444-452.
- [32] Wang Z, Huang S, Xu L, et al. A retrospective study of the mid-term efficacy of full-endoscopic annulus fibrosus suture following lumbar discectomy [J]. *Front Surg*, 2022, 9:1011746.
- [33] Bu J, Wang Z, Ma C, et al. Postoperative MRI findings following PELD and their correlations with clinical prognosis are investigated by injecting contrast into annulus fibrosus intraoperatively[J]. *J Pain Res*, 2024,17:381-392.
- [34] Pan YH, Wan D, Wang Q, et al. Association of spinal-pelvic parameters with recurrence of lumbar disc herniation after endoscopic surgery: a retrospective case-control study [J]. *Eur Spine J*, 2024,33(2):444-452.
- [35] Wang F, Chen K, Lin Q, et al. Earlier or heavier spinal loading is more likely to lead to recurrent lumbar disc herniation after percutaneous endoscopic lumbar discectomy [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022,17(1):356.
- [36] 商澜锴, 祝斌, 刘晓光. 经皮脊柱内镜腰椎间盘切除术并发症及其应对策略[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019,25(3):167-171.
- [37] 李娜, 张玉良, 杭国珍. 早期康复护理干预应用于腰椎退变性疾病腰椎椎间融合术患者中的效果观察[J]. *中国初级卫生保健*, 2018,32(8):79-80.
- [38] 李明琴. 早期康复护理对椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症效果的影响分析[J]. *中国社区医师*, 2021,37(31):135-136.
- [39] 许喜筠, 白秀英, 胡宝山. 早期康复护理对椎间孔镜治疗腰椎间盘突出症效果的影响分析[J]. *中国卫生标准管理*, 2017,8(19):172-174.
- [40] 樊瑶. 早期康复护理干预对腰椎间盘突出症术后恢复的效果及满意度分析[J]. *婚育与健康*, 2024,30(5):154-156.
- [41] Lyu Z, Bai J, Chen S, et al. Efficacy of lumbar kinetic chain training for staged rehabilitation after percutaneous endoscopic lumbar discectomy [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021,22(1):793.

(本文编辑:何祯)