

经皮脊柱内镜治疗退变性腰椎管狭窄症的现状及进展

时福东, 张世民

(中国中医科学院望京医院, 北京 100102)

【摘要】 经皮脊柱内镜减压术(percutaneous spinal endoscopic decompression, PSED)近些年在治疗退变性腰椎管狭窄(degenerative lumbar spinal stenosis, DLSS)中取得了良好的效果。相对于传统的开放手术创伤大、出血多、术后患者需较长时间卧床,恢复慢,PSED技术的迅速发展,很大程度上减少了DLSS患者的手术创伤、术后恢复时间和并发症。以PSED核心为靶点的治疗方法,以最小的创伤同时达到满意的腰椎管狭窄症的减压效果。根据腰椎管狭窄的位置和程度,确定理想的治疗方法至关重要。然而,在实践中,存在PSED对不同病理类型腰椎管狭窄症的治疗认识不足,如适应证选择、手术入路选择、各种入路的优缺点、内镜下椎体融合等问题。目前随着人们对PSED研究的深入及内镜器械的改进,在治疗DLSS方面取得了较大进展。本文将从适应证的把握、入路途径的选择、内镜入路的优缺点以及内镜辅助下椎体融合4个方面阐述PSED治疗DLSS的研究进展,以期为PSED临床治疗DLSS提供一定的指导。

【关键词】 内镜减压; 腰椎; 椎管狭窄; 最小侵入性外科手术

中图分类号:R681.5

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2022.04.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Current status and progress of percutaneous spinal endoscopy in the treatment of degenerative lumbar spinal stenosis

SHI Fu-dong and ZHANG Shi-min. Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

ABSTRACT Percutaneous endoscopic spine decompression(PSED) in recent years in the treatment of degenerative lumbar spinal stenosis(DLSS) achieved excellent results.Compared with traditional open surgery, which is characterized by large trauma, much bleeding, longer bed stay and slow recovery, the rapid development of PSED technology has greatly reduced the surgical trauma, postoperative recovery time and complications of DLSS patients. PSED core as the target therapy, with minimal trauma at the same time to achieve satisfactory decompression effect for lumbar spinal stenosis. Depending on the level, location, and degree of lumbar spinal stenosis, it is important to determine the ideal treatment. However, in practice, PSED has insufficient understanding of the treatment of different pathological types of lumbar spinal stenosis, such as indication selection, surgical approach selection, advantages and limitations of various approaches, and endoscopic vertebral fusion. At present, with the deepening of PSED research and the improvement of endoscopic instruments, great progress has been made in the treatment of DLSS. In this paper, the research progress in the treatment of DLSS by PSED in recent years will be described from four aspects, namely, the grasp of indications, the selection of approaches, the advantages and disadvantages of endoscopic approaches, and endoscope-assisted vertebral fusion, in order to provide certain guidance for the clinical treatment of DLSS by PSED.

KEYWORDS Endoscopic decompression; Lumbar vertebrae; Spinal stenosis; Minimally invasive surgical procedures

随着人口老龄化,退变性腰椎管狭窄(degenerative lumbar spinal stenosis, DLSS)已经成为老年人常见的一种疾病,下腰痛和间歇性跛行是患者选择治疗的常见原因。经皮脊柱内镜减压术(percutaneous spinal endoscopic decompression, PSED)在手术过程中尽可能的减少正常组织的损伤,而提供与开放式手术相同的治疗效果,患者可以更早地恢复正常生活,减少不良影响,保持高质量的生活^[1]。在实际临

床中,对适应证的把握、不同病理类型腰椎管狭窄症手术入路的选择,明确不同手术入路的优势以及局限性,再减压是确保达到满意手术效果的关键,本文将从适应证的把握、入路途径的选择、内镜入路的优缺点以及内镜辅助下椎体融合4个方面展开论述。

1 PSED 治疗 DLSS 的适应证选择

1.1 腰椎管狭窄症诊断

DLSS 是由腰椎中央管、侧隐窝、神经根管或椎间孔骨性或纤维结构异常生,从而导致神经血管等结构受压引起相应的临床症状。DLSS 狭窄的分型通常依赖于影像学诊断。在临床上,根据狭窄的部位分

通讯作者:张世民 E-mail:smzhang1117@163.com

Corresponding author:ZHANG Shi-min E-mail smzhang1117@163.com

为中央型椎管狭窄、侧隐窝狭窄、椎间孔狭窄以及混合型狭窄。硬膜囊面积(duralsac area, DSCA)测量是狭窄程度的定量方法, DSCA $<100\text{ mm}^2$ 为椎管相对狭窄, DSCA $<75\text{ mm}^2$ 为椎管绝对狭窄^[2], 但在实际临床中, 硬膜囊面积测量是繁琐和困难的, 并且往往出现症状体征与硬膜囊面积表现不一致性。根据 Schizas 等^[3]形态分类法将狭窄程度分为 4 级, A 级为无狭窄或者轻度狭窄, B 级为中度狭窄, C 级为重度狭窄, D 级为极重度狭窄, 有助于方便快捷的判断出狭窄的程度。需要注意的是, 单纯的影像学检查结果并不能作为判断是否进行手术的依据, 应将患者症状、体征、影像学检查三者相结合, 进行综合判断。

1.2 PSED 治疗 DLSS 适应证及扩展

PSED 主要适用于骨性结构增生及软组织退变钙化引起的轻、中度侧隐窝狭窄、椎间孔狭窄、中央椎管狭窄以及混合型狭窄; 狭窄合并椎间盘突出、1~2 节段腰椎管狭窄。

DLSS 是缓慢进展的疾病, 并不会快速发展危及生命, 对于轻度及中度狭窄患者, 应该首选保守治疗, 经保守治疗后症状不缓解或反而加重, 严重影响患者生活, 应积极寻求手术治疗, 目前 PSED 对治疗轻、中度 DLSS 已经取得了不错的临床疗效^[4-5]。对于重度与极重度 DLSS 患者, 内镜器械在椎管内移动受限, 存在减压不彻底和容易引起硬膜囊和神经根损伤的风险, 一般选择开放手术治疗, 但随着 PSED 技术与器械的快速发展, 目前也有学者采用 PSED 技术对重度 DLSS 进行治疗, 并取得了满意疗效^[6]。PSED 核心为靶点治疗, 虽然可以减少患者术中肌肉及小关节突等创伤, 降低术后不稳风险, 但同时视野受限, 使其难以对多节段椎管狭窄进行良好减压, 因此, 在多节段狭窄患者中, 责任节段的判定对于 PSED 技术至关重要。

狭窄合并轻度腰椎滑脱、不稳, 目前内镜辅助下椎体融合术应用逐渐广泛, 在减少对肌肉等创伤的同时, 起到良好的稳定作用^[7]。退变引起的中央型椎管狭窄, 如后纵韧带骨化、椎体后缘骨质增生、黄韧带肥厚等可以采用 PSED 技术进行减压, 但如果骨性狭窄超过椎管前后径的 50% 的中央型椎管狭窄患者中, 易导致马尾神经损伤, 一般不将 PSED 技术作为首选。除此之外, PSED 技术也不适用于其他腰椎脊柱疾病, 如多节段不稳定、多向旋转滑动、既往腰椎手术、马尾神经损伤、肿瘤、创伤、感染和畸形等。

2 PSED 治疗 DLSS

2.1 PSED 治疗 DLSS 的入路选择

PSED 技术主要分为经椎间孔入路脊柱内镜减压(transforaminal percutaneous spinal endoscopic de-

compression, t-PSED) 术和经椎板间入路脊柱内镜减压(interlaminar percutaneous spinal endoscopic decompression, i-PSED) 术两种手术入路。对于中央型椎管狭窄, i-PSED 能够通过切除椎板增生骨质和肥厚黄韧带, 获取足够的空间完成对硬膜囊及神经根减压, 临床上获得了满意的效果^[8]。t-PSED 具有经椎间孔由外而内进入椎管的特点, 通过切除增生关节突和部分椎弓根, 扩大椎间孔和侧隐窝的范围, 能对椎间孔狭窄进行直接减压、精准靶点治疗, 是脊柱内镜治疗椎间孔狭窄的最佳选择^[9]。

对于单侧侧隐窝狭窄, 两种手术入路均在临床上取得了满意的临床疗效^[10-12]。对于盘黄间隙水平和骨性侧隐窝狭窄上半部狭窄, 该处最常见的病理因素是椎间盘突出和上关节突关节增生内聚, 入口神经根在侧隐窝狭窄处被压迫。t-PSED 由于其穿刺靶点的优势, 切除上关节突腹侧以及突出的椎间盘, 侧隐窝外侧以及神经根腹侧的减压是这种入路的优势。若肥厚的黄韧带和上关节突引起硬膜囊和神经根的背侧压迫为主时, 经椎间孔入路减压较为困难。白一冰等^[13]在基础椎间孔镜技术(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)的基础上提出 BEIS (broad easy and immediate surgery) 技术, 增加了套管的头倾及外展角度, 使套管在椎管内的摆动角度更大, 具有更广阔的视野, 能对神经根背侧有较好的减压效果。但该技术操作步骤较繁杂, 术中透视较多, 具有较高的学习曲线。目前也有学者将穿刺靶点从最初的关节突尖部定为关节突基底部, 以达到对神经根背侧减压效果。国外 Ahn 等^[14]将穿刺靶点为椎间盘间隙和下椎椎弓根上切迹内侧缘中点处, 国内姚兴旺等^[15]将穿刺靶点定为椎弓根上切迹, 经下位椎体椎弓根上缘和上关节突基底部交界处进入椎间孔, 均在临床上取得了满意的疗效, 其优良率分别达到 86.7% 和 89.6%。而 i-PSED 对神经根背侧的减压较为方便直接, 可通过切除肥厚的黄韧带、增生的上关节突对神经根周围进行减压, 获得了满意的临床效果^[16]。对于骨性侧隐窝下半部的狭窄, 由于椎弓根的遮挡, t-PSED 难以对该区域进行全面暴露和减压, 经椎板间入路进行减压更为便捷。然而, 目前也有学者使用 t-PSED 对该区域进行减压, 其通过增加套管直径、将责任节段下位椎体后上缘定位穿刺靶点等来克服这种困难^[17]。Wang 等^[18]在外侧腰椎管概念的基础上, 将神经根管更精确的划分为 5 个区域, 以固定的功能解剖特征为参考, 通过影像检查中的特定解剖标志来识别, 有助于术前精确的位置确定, 从而进行有针对性的减压, 指出 t-PSED 适合除了 L₅-S₁ 节段的 1、2、5 区狭窄, i-PSED 更适用于 3、4

区狭窄和除了 5 区的 L₅-S₁ 节段狭窄。

具有双侧侧隐窝狭窄的患者,经后方单侧入路双侧减压(edoscopy-unilateral laminectomy for bilateral decompression, Endo-ULBD)技术获得良好的减压疗效^[19-20]。通过切除棘突基底部、对侧黄韧带和部分关节突,做到椎管内 270°减压,不损伤小关节的稳定,避免了运动节段侧向楔入的风险。脊柱内镜技术核心理念为靶向、微创以及精准,视野受限问题和减压疗效一直被临床医生所关注。随着微创外科化理念的深入以及大通道的应用,在临床上取得了满意的成果。叶丙霖等^[21]将大通道系统应用于 Endo-ULBD 技术,对 32 例老年腰椎管狭窄症患者进行治疗,优良率达 90.6%,取得了满意的临床疗效。除此之外,Hwang 等^[22]针对内镜在狭窄的椎板间的移动受限问题提出对侧入路椎板间锁孔内镜技术(contralateral keyhole endoscopic surgery, CKES)来对狭窄部位进行充分减压,其主要方法为在椎板间间隙狭窄时,在内镜下使用 3.5 mm 的内镜磨钻部分切除上椎板的下缘、下椎板的上缘和棘突的底部。然后,用打孔器、骨钳和镊子以圆形方式切除黄韧带的中间部分(即“制作钥匙孔”),钥匙孔是一个朝向病变侧的加宽的椎板间隙空间,这使内镜获得足够的工作空间,并可以被更加自由的操作。术后对 14 例单侧神经狭窄患者回访结果视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)分别从术前的 6.8 分和 61.6%显著改善到术后 6 个月的 2 分和 22.2%。

2.2 优势以及局限性

两种入路的优势及局限性表现主要如下:(1)t-PSED 适用于侧隐窝狭窄合并椎间孔狭窄患者,对中央型狭窄无效。i-PSED 适用于侧隐窝狭窄合并中央型狭窄患者,对椎间孔狭窄无效。(2)对不耐全麻手术的老年患者,t-PSED 局麻下手术是其优势,而 i-PSED 术者需要硬膜囊以及神经根充分暴露,为了避免神经根受到强烈刺激,通常采用全身麻醉或硬膜外麻醉。(3)t-PSED 术中由于小关节面和后侧椎板的保留,极大的减少了术后不稳的风险^[23]。而且有研究表明 t-PSED 通过切除增生的骨赘及关节突,有助于降低轻度腰椎失稳患者的不稳因素^[24]。(4)对于高髂嵴的 L₅-S₁ 患者,由于双侧髂嵴阻挡以及 L₅-S₁ 水平倾斜度等诸多因素,工作套管的角度更加陡峭,难以直达椎管进行充分减压。虽然有学者认为 t-PSED 在 L₅-S₁ 水平上具有不错的临床疗效^[25-26],但目前仍缺乏较多研究证明。对 L₅-S₁ 水平节段,多采用 i-PSED 避免这种局限,利用 L₅-S₁ 椎板间隙较大解剖优势,通过切除增生椎板以及关节突、肥厚黄韧带对

神经根背侧进行减压。(5)除了 L₅-S₁ 的椎板间隙较宽之外,其他节段间隙较为狭窄,i-PSED 通常需要通过切除椎板骨进入硬膜外间隙,通过广泛的硬膜囊暴露对侧隐窝和硬膜外腔进行充分的减压,类似传统的后路椎板切除术,可能会引起术中硬膜囊损伤的风险和术后不稳;而且,在侧隐窝完全减压的过程中,可能会引起部分小关节过度切除。(6)若腰椎退变严重,椎间隙严重狭窄,在椎间孔成形过程中,容易刺激到出口神经根,产生术后感觉异常^[27]。因此,对于内镜入路的选择不仅取决于病变区域,还需要考虑到术者的偏好以及技术掌握的熟练程度。

3 脊柱内镜辅助下椎体融合

对于腰椎侧隐窝狭窄或椎间孔狭窄合并单节段不稳或腰椎滑脱的患者,通常需要在充分减压的同时进行椎体融合。近年来,随着脊柱内镜手术的技术不断发展和进步,经皮内镜腰椎椎体融合术(percutaneous endoscopic lumbar interbody fusion, Endo-LIF)在临床上取得了不错的疗效^[28-29]。但目前对减压融合适应证的选择尚没有统一的结论,争议的焦点主要是融合是否增加了 I 级或 II 级脊椎前移患者的减压益处^[30]。Alentado 等^[31]的荟萃分析表明,单纯减压手术治疗约为 69%的满意率,而联合融合术的满意率达到 86%~90%。Endo-LIF 入路主要可分为经椎间孔入路和经椎板间入路。经椎间孔入路利用椎间孔成形术,切除上关节突骨质,提供足够安全空间植入融合器。由于成形部位紧靠关节突尖部容易刺激或损伤出口神经根,可以将成形部位靠近椎间孔下半部分,避免出口神经根损伤^[32];经椎板间入路利用可视化环锯切除黄韧带、部分椎板、关节突和峡部,避免损伤出口神经根,同时具有足够的安全通道植入融合器。为了增强椎体间稳定性,以保证椎体间植骨更快融合,通常会采用双侧经皮椎弓根螺钉系统辅助固定,单侧经皮后路椎弓根螺钉联合经椎板间关节突螺钉和双侧经椎板关节突螺钉也能起到很好的稳定性及融合率^[33-34],不使用辅助固定,会导致融合器移位、椎间隙变窄、椎体间不融合等并发症^[35]。但最近有学者提出,双枚可撑开式融合器的单独融合器植入(stand-alone)技术对骨密度正常、轻度小关节病、轻度腰椎滑脱等患者的治疗中,术后经 12 个月随访,融合率为 95.2%,高于使用椎弓根螺钉系统的融合率(80%)^[36]。Ahn 等^[37]研究表明相对于开放式腰椎椎体间融合术,Endo-LIF 可以对软骨终板进行高质量,精准的处理,减少了开放式腰椎椎体间融合术软骨终板的处理不完全而导致的融合器沉降及融合失败,以及麻醉的种类多样性,对于不耐全麻的老年患者也可行局麻下操作。但对于椎间盘间

隙 <5 mm 时或 Kambin 三角非常狭窄的患者,应首选开放手术进行融合,内镜下很难植入足够大的融合器,可能会导致椎体间不融合、融合器沉降或移位。

4 总结与展望

PSED 作为一种微创手术,因其手术时间短、出血量少、软组织损伤小、恢复快而优于传统的开放手术。需要注意的是,正如之前提到的,不同手术入路各有其独特的适应证和并发症:(1)t-PSED 适用于侧隐窝狭窄伴或不伴椎间孔狭窄患者,难以对中央型狭窄减压;i-PSED 适用于侧隐窝狭窄伴或者不伴中央型狭窄,对椎间孔狭窄无效。(2)t-PSED 更适合 L_{4,5} 或更高节段的狭窄患者,若定位和穿刺不当易导致腰椎动脉和出口神经根损伤,引起术后感觉障碍和血肿。(3)i-PSED 在 L₅-S₁ 水平狭窄、中央型腰椎管狭窄症和高度迁移的椎间盘突出症中具有优势,但过度牵拉会增加硬膜囊损伤的风险。(4)i-PSED 全麻下手术势必会增加老年患者的麻醉风险,虽然 t-PSED 局部麻醉下手术能降低老年麻醉风险和保护神经根免受损伤,但当患者难以忍受术中疼痛时,剧烈疼痛的感觉甚至可能会导致心血管并发症的发生。术者应该术前完善内科检查,详细询问患者症状以及阳性体征。仔细分析影像学检查以助于设计合适的穿刺路线。在术中,术者应能熟练的在内镜下区分不同的解剖结构,逐级对狭窄处进行减压,切忌粗暴操作,若出现神经根损伤,立即停止手术。术后密切关注患者病情变化。

随着脊柱内镜外科化理念深入、技术不断成熟、手术器械越趋丰富,脊柱外科医生能够拥有更大范围的手术区域视野和处理更广泛的病变,PSED 的适应证正在逐渐扩大,而且高速磨钻、可视环锯或镜外环锯、智能导航的应用使内镜下手术更加安全和便捷。虽然,PSED 治疗 DLSS 经过随机试验和荟萃分析证明表明是一种优秀的替代手术选择,然而,目前的证据水平仍然是有限的,仍需要进一步的技术开发和高质量的研究来证实 PSED 技术对 DLSS 的临床相关性和有效性。相信随着脊柱内镜镜下器械不断发展、技术不断创新和提高、智能导航与 3D 技术的应用,该技术治疗腰椎管狭窄将会更加普及和实用。

参考文献

- [1] 丁宇,张建军,崔洪鹏,等.精准定位经皮全内镜椎板开窗减压术治疗腰椎管狭窄症[J].中国骨伤,2019,32(10):941-946.
DING Y,ZHANG JJ,CUI HP,et al. Percutaneously full endoscopic decompressive laminectomy with precise localization for the treatment of lumbar spinal stenosis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(10): 941-946. Chinese with abstract in English.
- [2] Genevay S, Atlas SJ. Lumbar spinal stenosis[J]. Best Pract Res Clin Rheumatol, 2010, 24(2): 253-265.
- [3] Schizas C, Theumann N, Burn A, et al. Qualitative grading of severity of lumbar spinal stenosis based on the morphology of the dural sac on magnetic resonance images[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2010, 35(21): 1919-1924.
- [4] Ahn Y, Keum HJ, Son S. Percutaneous endoscopic lumbar foraminotomy for foraminal stenosis with postlaminectomy syndrome in geriatric patients[J]. World Neurosurg, 2019, 130: e1070-e1076.
- [5] Heo DH, Quillo-Olviera J, Park CK. Can percutaneous biportal endoscopic surgery achieve enough canal decompression for degenerative lumbar stenosis prospective case-control study[J]. World Neurosurg, 2018, 120: e684-e689.
- [6] 张斌,孔清泉,杨进,等.经皮内镜下经椎间孔入路双侧减压治疗重度腰椎中央管狭窄症近期疗效[J].中国修复重建外科杂志,2019,33(11):1399-1405.
ZHANG B,KONG QQ,YANG J,et al. Short-term effectiveness of percutaneous endoscopic transforaminal bilateral decompression for severe central lumbar spinal stenosis[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2019, 33(11): 1399-1405. Chinese.
- [7] Harakuni T, Iwaitt O, Shima Y, et al. Full-endoscopic lumbar interbody fusion for treating lumbar disc degeneration involving disc height loss: technical report[J]. Medicina (Kaunas), 2020, 56(9): 478.
- [8] Sun F, Liang Q, Yan M, et al. Unilateral laminectomy by endoscopy in central lumbar canal spinal stenosis: technical note and early outcomes[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(14): E871-E877.
- [9] 张世民. 经皮脊柱内镜减压术治疗腰椎管狭窄症面临的问题[J]. 中国骨伤, 2021, 34(1): 5-8.
ZHANG SM. Problems faced by percutaneous spinal endoscopic decompression in the treatment of lumbar spinal stenosis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(1): 5-8. Chinese.
- [10] Ishibashi K, Oshima Y, Inoue H, et al. A less invasive surgery using a full-endoscopic system for L₅ nerve root compression caused by lumbar foraminal stenosis[J]. J Spine Surg, 2018, 4(3): 594-601.
- [11] Senturk S, Unsal UU. A new technique that percutaneous endoscopic decompression and vertebroplasty in a patient with osteoporotic vertebral fracture: a case report[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2020, 45(15): E967-E971.
- [12] Sriphiro P, Siramanakul C, Chaipanha P, et al. Clinical outcomes of interlaminar percutaneous endoscopic decompression for degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis[J]. Brain Sci, 2021, 11(1): 83.
- [13] 白一冰,李嵩鹏,王力文,等.改良 TESSYS 技术治疗腰椎神经根管狭窄症[J].颈腰痛杂志,2015,36(1):16-19.
BAI YB,LI SP,WANG LW,et al. The modified TESSYS technique for the treatment of lumbar nerve root canal stenosis[J]. Jing Yao Tong Za Zhi, 2015, 36(1): 16-19. Chinese.
- [14] Ahn Y, Keum HJ, Lee SG, et al. Transforaminal endoscopic decompression for lumbar lateral recess stenosis: an advanced surgical technique and clinical outcomes[J]. World Neurosurg, 2019, 125: e916-e924.
- [15] 姚兴旺,李亚伟,王冰,等.全内镜下可视化经椎弓根上切迹入路手术治疗腰椎侧隐窝狭窄症的疗效分析[J].中国脊柱脊髓杂志,2020,30(7):589-595.
YAO XW,LI YW,WANG B,et al. Clinical analysis of lumbar lateral recess stenosis with the full-endoscopic visualized decompress-

sion via a superior vertebral notch approach[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2020, 30(7):589-595. Chinese.

[16] Liu Y, Qi Y, Diaty DM, et al. Treatment for lumbar spinal stenosis secondary to ligamentum flavum hypertrophy using percutaneous endoscopy through interlaminar approach: a retrospective study [J]. J Orthop Surg Res, 2020, 18, 15(1):337.

[17] 郑剑平, 孙春汉, 蔡宏华, 等. 椎间孔镜技术在老年腰椎间盘突出并侧隐窝狭窄中的应用[J]. 临床与病理杂志, 2017, 37(1): 5-9.
ZHENG JP, SUN CH, CAI HH, et al. Application of transforaminal endoscopic technology for elderly lumbar disc herniation combined with lateral recess stenosis[J]. Lin Chuang Yu Bing Li Za Zhi, 2017, 37(1):5-9. Chinese.

[18] Wang Y, Dou Q, Yang J, et al. Percutaneous endoscopic lumbar decompression for lumbar lateral spinal canal stenosis: classification of lateral region of lumbar spinal canal and surgical approaches[J]. World Neurosurg, 2018, 119: e276-e283.

[19] Kim HS, Paudel B, Jang JS, et al. Percutaneous full endoscopic bilateral lumbar decompression of spinal stenosis through uniportal-contralateral approach: techniques and preliminary results [J]. World Neurosurgery, 2017, 103: 201-209.

[20] Xin Z, Huang P, Zheng G, et al. Using a percutaneous spinal endoscopy unilateral posterior interlaminar approach to perform bilateral decompression for patients with lumbar lateral recess stenosis[J]. Asian J Surg, 2020, 43(5):593-602.

[21] 叶丙霖, 王想福, 李淑玲, 等. 大通道内镜经单侧入路双侧减压治疗老年腰椎管狭窄症[J]. 中国骨伤, 2021, 34(1):8-14.
YE BL, WANG XF, LI SL, et al. Treatment of senile lumbar spinal stenosis by unilateral approach and bilateral decompression with large channel endoscopy[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2021, 34(1):8-14. Chinese with abstract in English.

[22] Hwang JH, Park WM, Park CW. Contralateral interlaminar keyhole percutaneous endoscopic surgery in patients with unilateral radiculopathy: technical notes [J]. World Neurosurgery, 2017, 101: 33-41.

[23] 林海, 张世民, 吴冠男, 等. 两种不同入路椎间孔镜技术治疗 L_{4,5} 椎间盘突出症[J]. 中国骨伤, 2019, 32(10):904-909.
LIN H, ZHANG SM, WU GN, et al. Treatment of L_{4,5} lumbar disc herniation with percutaneous endoscopic lumbar discectomy through two different approaches[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(10):904-909. Chinese with abstract in English.

[24] Li XF, Jin LY, Lv ZD, et al. Efficacy of percutaneous transforaminal endoscopic decompression treatment for degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis in elderly patients[J]. Exp Ther Med, 2020, 19(2): 1417-1424.

[25] Abe M, Takata Y, Higashino K, et al. Foraminoplasty transforaminal percutaneous endoscopic discectomy at the lumbosacral junction under local anesthesia in an elite rugby player[J]. J Med Invest, 2015, 62(3-4):238-241.

[26] Choi KC, Park CK. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for L₅-S₁ disc herniation: consideration of the relation between the iliac crest and L₅-S₁ disc[J]. Pain Physician, 2016, 19(2):E301-E308.

[27] 罗科锋, 蒋国强, 卢斌, 等. 经椎间孔镜下椎间孔成形术治疗单纯腰椎管侧方出行区狭窄[J]. 中国骨伤, 2020, 33(5):420-425.
LUO KF, JIANG GQ, LU B, et al. Percutaneous transforaminal endoscopic foraminoplasty for simple lumbar spinal lateral exit zone stenosis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2020, 33(5):420-425. Chinese with abstract in English.

[28] Wu W, Yang S, Diao W, et al. Analysis of clinical efficacy of endo-LIF in the treatment of single-segment lumbar degenerative diseases[J]. J Clin Neurosci, 2020, 71: 51-57.

[29] 张骏, 金梦然, 赵廷潇, 等. 经皮脊柱内镜辅助下腰椎椎体间融合术及其临床应用[J]. 中国骨伤, 2019, 32(12):1138-1143.
ZHANG J, JIN MR, ZHAO TX, et al. Clinical application of percutaneous transforaminal endoscope assisted lumbar interbody fusion[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2019, 32(12):1138-1143. Chinese with abstract in English.

[30] Inose H, Kato T, Yuasa M, et al. Comparison of decompression, decompression plus fusion, and decompression plus stabilization for degenerative spondylolisthesis: a prospective, randomized study [J]. Clin Spine Surg, 201, 31(7):E347-E352.

[31] Alentado VJ, Caldwell S, Gould HP, et al. Independent predictors of a clinically significant improvement after lumbar fusion surgery [J]. Spine J, 2017, 17(2):236-243.

[32] Li ZZ, Hou SX, Shang WL, et al. Modified percutaneous lumbar foraminoplasty and percutaneous endoscopic lumbar discectomy: instrument design, technique notes, and 5 years follow-up[J]. Pain Physician, 2017, 20(1):E85-E98.

[33] Ahn Y, Youn MS, Heo DH. Endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion: a comprehensive review[J]. Expert Rev Med Devices, 2019, 16(5):373-380.

[34] 丁宇, 朱腾月, 阮狄克, 等. 经皮内镜辅助椎间融合治疗腰椎不稳的生物力学评价[J]. 中国骨与关节杂志, 2017, 6(10):724-729.
DING Y, ZHU TY, RUAN DK, et al. Biomechanical evaluation of percutaneous transforaminal endoscopic lumbar interbody fusion with different fixation methods in the treatment of lumbar instability[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Za Zhi, 2017, 6(10):724-729.

[35] Kim JE, Choi DJ. Biportal endoscopic transforaminal lumbar interbody fusion with arthroscopy[J]. Clin Orthop Surg, 2018, 10(2):248-252.

[36] Manzur MK, Steinhaus ME, Virk SS, et al. Fusion rate for stand-alone lateral lumbar interbody fusion: a systematic review [J]. Spine J, 2020, 20(11):1816-1825.

(收稿日期:2021-03-07 本文编辑:王玉蔓)