

经皮脊柱内镜 TESSYS 技术治疗腰椎间盘突出症的临床应用进展

王 准(综述),贺永进*(审校)
(天津市第一中心医院疼痛科,天津 300190)

[摘要] 随着脊柱微创手术技术的不断发展,经椎间孔脊柱内镜系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)技术已经成为手术治疗腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)的首选方法。本文重点从 TESSYS 技术的发展历史、优点与适应证、操作技巧、临床效果以及术后并发症等方面,对该技术在 LDH 患者中的临床应用作一综述。

[关键词] 椎间盘移位;脊柱内镜;治疗 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.01.010

[中图分类号] R681.53 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)01-0047-06

腰椎间盘突出症(lumbar disc herniation, LDH)是目前临床常见病,多数患者都可通过非手术治疗缓解症状,仅有 10% 的患者在经非手术治疗无效后,仍须进行手术治疗^[1-2]。随着脊柱内镜技术的诞生与发展,因其创伤小、出血少、住院时间短、康复快等优势,已越来越为临床医生所认可并得以普及^[3]。临床上也相继产生多种穿刺入路和改良技术,而经椎间孔脊柱内镜系统(transforaminal endoscopic spine system, TESSYS)技术仍是目前临床上最常用并已成为当今最具发展前景的脊柱内镜技术^[4]。

1 脊柱内镜技术的发展概况

1983 年,首次报道在内镜辅助下,经后外侧区入路腰椎间盘髓核切除术(arthroscopic microdiscectomy, AMD),是现代医学可视化脊柱内镜技术发展的里程碑^[5]。1987 年,首次提出位于腰段脊柱背侧椎间盘上的三维立体解剖三角形,称为 Kambin 三角,将其视为进行椎间盘穿刺的安全靶点^[6]。1999 年,提出经皮椎间孔内镜系统(the yeung endoscopic spine system, YESS),该项技术将椎间孔镜经过 Kambin 三角置入突出的椎间隙内,由里至外摘除突出的间盘组织^[7]。因为该技术

工作通道并不进入椎管内,因此无法处理椎管内游离的髓核、钙化灶以及增生的骨质等,无法进行神经根减压,对 L₅~S₁ 节段椎间盘突出操作难度大,因此该技术只适用于包容型 LDH、极外侧型 LDH 以及部分后纵韧带破裂的脱垂型 LDH^[8]。

2006 年,有研究提出了 TESSYS,经椎间孔将工作通道置入椎管内,由外至内摘除突出的椎间盘组织,即:TESSYS 技术^[9]。TESSYS 技术使用骨钻磨削上关节突,使椎间孔扩大成型后进入椎管内,在镜下可以直视突出的椎间盘和受压的神经根,又称为“outside-inside”技术,适用于各种类型的腰椎间盘突出,使该技术适应证更为广泛。但该技术在处理巨大型、高移位的腰椎间盘突出或由于高髂嵴所阻挡的 L₅~S₁ 椎间盘突出时,仍然具有一定困难。2006 年,提出了经皮全可视化内镜下操作的理念,通过内镜从椎板间入路治疗 L₅~S₁ 节段突出的椎间盘^[10]。该技术将整个穿刺流程全部可视化,能够在增强安全系数的同时,处理各种难度较大的椎间盘突出。

2 经皮脊柱内镜 TESSYS 技术操作技巧及注意事项

满意的局部麻醉和正确的手术体位,能够减轻患者术中的不适感,提高对手术的耐受性,使手术过程更加流畅。手术体位的选择,要综合考虑手术节段、手术入路、突出类型和患者的耐受性等多方面因素。目前常采用俯卧位或侧卧位,术者可根据操作习惯灵活选择。术者以“C”型臂透视进行体表定位,侧位透视定位穿刺椎间隙,正位透视定位棘突中

[收稿日期]2023-02-24

[基金项目]天津市卫生健康科技项目(ZC20094)

[作者简介]王准(1978-),男,河北乐亭人,天津市第一中心医院副主任医师,医学硕士,从事慢性疼痛性疾病诊治研究。

* 通信作者。E-mail:heyongjin1995@sina.com

线和穿刺椎间隙,正侧位穿刺间隙的相交点为穿刺点, L_{2-3} 与 L_{3-4} 椎间盘突出,一般穿刺点自棘突中线旁开8~10 cm, L_{4-5} 椎间盘突出一般旁开10~12 cm, $L_5\sim S_1$ 间隙旁开12~14 cm,穿刺点需要避开髂嵴。对于体型肥胖的患者,穿刺点应略偏外侧;对于髓核向下方脱出的患者,穿刺点应略偏头侧;对于极外侧突出的患者,穿刺点应略偏向内侧。穿刺时,穿刺针与水平面呈 $15^\circ\sim 20^\circ$ 角。沿皮肤穿刺标记线,将18 G穿刺针自穿刺点一直穿刺到与病变间盘相邻下位椎体的上关节突尖部,从穿刺针中置入定位导丝,以导丝为中心切开皮肤和皮下组织7~8 mm,沿导丝依次置入软组织扩张导杆,需注意应旋转置入导杆。用环锯或骨钻磨除上关节突尖部,操作过程以不引起患者不适为准^[11]。Xiong等^[12]报道,将直径为7.5 mm的工作套筒置到椎弓根中1/3连线或将直径为6.3 mm的工作套筒置到棘突中线,都是安全的。工作通道建立后,即正位片示套筒到达棘突中线、侧位片示到达椎体后上缘连线,置入椎间孔镜并连接成像系统与灌注系统,保持镜下匀速生理盐水冲洗,冲洗流速过慢影响视野清晰度,流速过快则会引起患者头痛、眩晕等类脊髓高压的不良反应。用双极射频刀头进行镜下止血,并用髓核钳抓取突出的髓核组织,将突出的髓核组织摘除后,再用射频刀头修复重建破裂的纤维环,术毕退出椎间孔镜镜头,缝合皮肤切口^[13-14]。

该技术需严格掌握手术适应证,术前注意询问病史、体格检查和辅助检查(X线、CT、MRI等)三者相结合;术前仔细查阅患者影像学资料以明确髂嵴的高度、椎间孔的大小、突出物的大小、在椎管内的位置、有无钙化及侧隐窝骨性狭窄等情况。对于椎间孔较小的患者,需要用骨钻或环锯磨削小关节。

3 经皮脊柱内镜 TESSYS 技术的临床疗效和适应证

经皮椎间孔镜 TESSYS 技术采用侧入路,直接进行硬膜囊和神经根的减压,具有立竿见影的疗效。该技术具有创口小、对脊柱生理结构影响少、能精确去除突出物及神经根管的狭窄部位等优点,对缓解疼痛症状和改善腰椎功能效果尤其突出^[15];利用多级骨钻或环锯扩孔系统进行椎间孔成型,经扩大后的椎间孔进入椎管,而不是经“Kambin 三角”进入椎间盘,术中能够轻松置入工作套管,避免了对硬膜囊和神经根的牵拉,能够有效的保护硬膜囊和神经根^[16];操作系统可以与动力系统、咬骨钳等器械更好的配合,术中还可以通过精确打磨增生骨赘、切除

肥厚增生及骨化的黄韧带,进而达到对神经根管充分减压的目的,有效缓解临床症状。

Yu等^[17]分析了195例单节段或多节段LDH行TESSYS治疗患者的随访资料,提出单节段LDH术后效果显著优于多节段(83.9% vs. 69.7%),对多节段LDH患者来说,术前应先行选择性神经根阻滞以明确责任椎间盘,再进行TESSYS技术处理突出物。将TESSYS技术、显微镜下腰椎间盘切除术(microendoscopic discectomy, MED)、传统椎板开窗手术加以比较,经过2年随访发现TESSYS术后24~48 h血清C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、白细胞介素6(interleukin-6, IL-6)水平均显著低于MED及传统椎板开窗手术,在创伤大小、症状缓解程度、康复时间及并发症发生率等方面具有明显的优势^[18-19]。Yang等^[20]对166例腰椎间盘突出合并侧隐窝狭窄患者行经皮脊柱内镜椎间孔成形、腰椎间盘切除术,并进行2年随访发现,术后腰腿痛、视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分、Oswestry功能障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评分和SF-36生活质量评分与术前相比均明显改善。唐劲等^[21]应用经皮椎间孔镜TESSYS技术与经椎间孔入路腰椎椎间融合术(transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF)比较,TESSYS组手术优良率为94.44%(51/54),显著高于TLIF组的81.48%(44/54),2组术后1个月、6个月VAS、ODI评分均显著低于术前,TESSYS组患者VAS、ODI评分显著低于TLIF组,2组术后6个月胫神经、腓总神经、隐神经、腓肠神经传导速度均显著高于术前,TESSYS组显著高于TLIF组,证明TESSYS技术可以扩大成形狭窄的神经根管,改善神经传导速度。综上所述,在相同实验条件下,TESSYS技术与MED、传统开放手术,以及脊柱融合手术相比,均具有较高的手术优良率,但创伤更小、并发症更少、恢复更快。

利用经皮椎间孔镜TESSYS技术行椎间孔成形,工作通道能够直达椎管的中央部分,比YESS技术更易于到达 $L_5\sim S_1$ 节段,更易切除突出较大的椎间盘。手术可在局部麻醉下进行,如果工作通道置入过程中挤压到行走根,患者可以迅速反馈,如强行操作则有引起神经损伤的可能性,这时就可把工作套管抵到上关节突的肩部,用镜下环锯或磨钻进行二次成型,逐步进入椎管并直达间盘突出部分,可有效避免医源性神经根损伤,确保手术安全性。Zhang等^[22]在TESSYS技术中利用双极射频电极

对纤维环进行成型,能有效保持纤维环的完整性,并能防止终板或残余髓核的再突出,保持椎间隙的正常高度,维持脊柱生物力学的稳定,术后神经根粘连和疤痕化程度减轻,从而不影响失败后的补救手术;术后如存留顽固性腰痛,可通过后纵韧带射频消融去神经化来改善。

近些年,由于技术日益成熟,经皮脊柱内镜 TESSYS 技术应用越来越普遍,适应证也有所扩大,除了各型腰椎间盘突出(如:中央型、外侧型、极外侧型;膨出、突出、脱出、脱垂)外,在腰椎管狭窄、稳定的腰椎滑脱、单节段钙化型腰椎间盘突出、黄韧带钙化、椎间盘囊肿以及椎间融合术后复发性腰椎间盘突出中的应用方面亦呈明显上升趋势,也可应用于伴有马尾综合征的重度腰椎间盘突出症、脊柱感染病灶清除、椎管内良性肿瘤等的治疗,尤其适用于需进行二次翻修手术的患者,既能避开第一次手术引起的瘢痕粘连,又能有效缓解神经根张力,减少术中出血,缩短住院时间,促进腰椎功能恢复,并提高术后治疗及康复效果^[23-24]。

4 经皮脊柱内镜 TESSYS 技术的局限性

4.1 适应证的局限性 经皮椎间孔镜技术由于受工作通道的限制,常难以彻底摘除手术器械不能触及的髓核组织,对于髂嵴较高、L₅ 横突肥大的 L₅~S₁ 椎间盘突出患者,手术入路受到阻挡,近 18% 的患者甚至无法通过该技术完成手术^[25]。Passacantilli 等^[26] 报道将突出的椎间盘在矢状面 MRI 上分为 4 区,对 126 例突出间盘位于 4 区的患者应用 TESSYS 技术治疗(4 区指的是椎间孔外侧型突出),重度远端脱垂(突出间盘超过下位椎弓根中部)患者的术后疗效和影像学检查结果满意度,均低于突出间盘位于 2 区或 3 区的患者(78.9% vs. 91.6%)。由此可见,对于椎间盘脱出游离的患者来说,TESSYS 技术无法彻底摘除突出髓核,因此对于突出间盘位于 4 区的患者,建议行开放手术治疗。随着动力系统等新的手术器械的发展,对于严重骨质增生、重度椎管狭窄、多节段腰椎间盘突出及 II 度以上腰椎滑脱的患者,都可经 TESSYS 技术进行治疗,这些都逐渐成为了适应证。

4.2 学习曲线相对陡峭 经皮椎间孔镜 TESSYS 技术的入路与常规后路手术不同,要求术者具有丰富的内镜手术经验,对脊柱的三维立体结构非常熟悉,并能够适应内镜下影像的全平面视野和“手眼分离”的操作方式。术中可能会遇到椎管内结构暴露不充分的情况,多由于关节突穿刺点偏移导致工作

套管置入部位不理想,因此学习曲线较长^[27]。有术者则更详尽地把手术具体步骤细分为建立通道时间、镜下操作时间等,发现该技术在 50~70 例达到平台期,对于穿刺定位、镜下减压、止血等技术的掌握是影响学习曲线的主要因素^[28]。随着手术例数的增加,“手眼心”对操作技术的领悟与掌握更为娴熟,对病变髓核、硬膜囊、神经根及周围组织的辨识更为清晰,分离并摘除突出的间盘组织更加完整,对游离和明显退变的间盘组织摘除更加彻底,最大程度降低椎间盘压力,从而有效的缓解对神经根的压迫^[29]。

4.3 射线的危害 国际放射防护协会制定了手术操作时对术者射线暴露的限制标准,即把术者眼睛与手所能接受的最大射线量作为每个医师 1 年内经皮脊柱内镜手术例数的上限,因此术中对眼睛和手的防护是至关重要的。随着现代化手术室的规范设置及铅屏风的广泛应用,能够最大限度的减少术者的射线暴露。患者接受的辐射量多少取决于术中透视的次数,通常都在安全范围内^[30]。术中透视次数过多会增加医护人员和患者的辐射危险,尤其在初学阶段。Ahn 等^[31] 在辐射对术者的损害研究中报道,每个手术间盘节段所累计的放射剂量为:颈部 0.078 5 mSv;右前臂 0.046 1 mSv;左中指 0.731 8 mSv;右中指 0.669 4 mSv;胸部 0.171 8 mSv,使用铅围领和铅衣防护可使辐射量分别减少 95.5% 和 93.2%;如果外科医生不使用防辐射设备,由于受职业暴露最大允许的辐射量限制,经皮椎间孔镜手术每年最多不超过 281 例,使用防辐射措施(铅围领、铅衣等)后手术量可明显增加。

5 经皮脊柱内镜 TESSYS 技术术后并发症

5.1 髓核部分残留压迫神经根 TESSYS 技术可以用于治疗多种类型的腰椎间盘突出,但对于巨大的、严重脱垂移位的巨大椎间盘突出,仍有髓核残留的可能。Choi 等^[32] 回顾研究了过去 12 年 10 228 例经皮椎间孔镜 TESSYS 手术,对 149 例出现术后椎间盘残留的原因进行分析:工作通道位置欠佳 95 例(33.6%),中央型突出 91 例(32.2%),椎间盘移位 70 例(24.7%),腋下型突出 63 例(22.3%),肩上型突出 18 例(6.4%),椎间孔型/极外侧型突出 12 例(4.2%),由此得出结论,适应证的选择和准确的工作通道位置是该手术成功的关键。术中通过旋转工作套管仔细检查有无残留间盘组织,以便最大程度摘除突出的椎间盘,但过度摘除突出椎间盘会增加硬膜囊撕裂或神经根损伤的风险,因此,只需恢复

硬膜囊和神经根的搏动即可^[33]。

5.2 硬膜囊撕裂 由于 TESSYS 技术是“由外向内”面对硬膜囊和神经根操作,损伤硬膜囊或神经根的风险高于“由内向外”的 YESS 技术,这在初学者中更为常见,手术器械或射频刀头损伤硬膜囊、巨大椎间盘碎片、椎管内粘连以及硬膜囊松弛是硬膜囊撕裂的危险因素。内镜下硬膜囊的撕裂口通常极为细微,无需特殊处理^[34]。对于较大的硬膜囊撕裂,需开放手术进行修补,以避免严重并发症(脑脊液漏、逆行性感染、马尾神经症等)的出现,术后禁用椎管内负压引流,防止颅内低压、颅内出血、或蛛网膜下腔出血。为避免损伤硬膜囊,应注意穿刺角度准确,术中仔细暴露、充分止血,保持术野清晰,时刻明确镜下解剖结构,切忌暴力操作。

5.3 神经根损伤 TESSYS 技术工作通道解剖复杂,术中需要根据突出间盘位置决定个性化穿刺靶点,由于亚洲人神经根的变异率比较高,所以术中可能需要反复穿刺、置管,增加了术中神经损伤的风险;另外,椎间孔形态对 TESSYS 技术的影响较大,术中可能需要使用环锯进行椎间孔二次成型,在狭窄的椎间孔内产生的较大压力易引起患者剧烈的疼痛甚至造成神经根损伤^[35]。轻微的神经营根损伤表现为术中出现一过性的感觉神经功能障碍,术后短期内可自行恢复;严重的神经营根损伤除感觉神经功能障碍外,术后还可能出现股四头肌萎缩、患侧足下垂等运动神经功能障碍症状,甚至出现永久性神经功能障碍。神经根或马尾神经损伤是术后严重的并发症,损伤严重时神经功能往往难以修复,故重点在于预防。

5.4 术后椎间隙感染 椎间孔镜手术创伤小,术后感染率明显低于开放手术,但仍有 0.12%~1.02% 的发生率,以细菌感染多见^[36]。Gu 等^[37]应用经皮椎间孔镜 TESSYS 技术治疗 219 例 LDH 的回顾性研究发现,发生椎间隙感染 6 例,发生率为 2.9%,应用抗生素并绝对卧床 4 周后痊愈。化脓性脊柱炎是脊柱术后最严重的并发症,可导致严重的神经功能障碍。如果怀疑有椎间隙感染迹象,应尽早行血常规、红细胞沉降率和 CRP 检测, MRI 对术后早期脊柱感染的诊断价值不高;影像引导下椎间盘穿刺活检可以明确诊断并确定病原菌。一旦确诊,症状较轻的患者需尽早应用抗生素并严格制动;症状较重的患者,在应用抗生素并严格制动的同时,可行椎间隙灌洗和引流。如非手术治疗效果不好,需行开放手术清创甚至椎间融合手术治疗。

5.5 术后感觉功能障碍 (postoperative

dysesthesia, POD) POD 与操作不当或器械刺激、椎间孔大小、神经根变异以及工作通道在椎间孔内的位置等因素有关。背根神经节位于椎间孔内,易受椎间孔狭窄、椎间盘突出以及手术器械机械损伤的影响^[38]。POD 严重影响患者的康复时间和生活质量,多数可通过神经营养药物、物理治疗以及康复锻炼后改善。Cho 等^[39]报道 154 例患者应用“漂浮回缩技术”(floating retraction technique, FRT)未发生 POD,证实该技术可以有效预防 POD 的发生。术中须多次透视定位导丝和工作套管的位置,可避免机械牵拉或损伤位于椎间孔上部的背根神经节。

5.6 术后复发 LDH 术后复发的危险因素包括:性别(男性>女性)、年龄(≥ 50 岁)、肥胖(体重指数 ≥ 25)、吸烟及饮酒史、脊柱外伤史、严重的终板炎等,术后复发率(2%~18%)因术式不同而不同^[40-41],手术结束时的把握及术后不恰当的体力劳动与复发关系密切,术者手术经验不足也是术后复发的原因之一。手术医生术前应认真研究影像学检查资料,仔细设计穿刺路径;术后的康复指导(如:腰背部核心肌群功能锻炼、正确的坐姿、适当的负重等)可有效降低 LDH 的复发率。

6 展 望

经皮椎间孔镜 TESSYS 技术已广泛应用于临床,技术日趋完善,随着手术例数的增长,不可避免地出现更多亟待改进的问题。很多学者研发了多种新技术以改进椎间孔镜术中定位穿刺需要反复透视的问题,例如:新型定位(导向)器械、3D 打印及计算机导航技术^[42-44],这些技术均能有效减少透视及穿刺次数,提高术中穿刺精确度,具有一定的临床应用价值。采用超声定位可明显减少透视频次,从而有效的减少射线辐射。近年来提出的超声容积导航技术^[45],将术中实时的超声数据信息与患者术前腰椎 CT、MRI 数据信息进行图像融合,利用融合图像及电磁场跟踪技术精确地指导椎间孔镜的定位穿刺靶点,但由于对术者的影像学技术和脊柱外科经验要求较高,且需要较大的设备成本和较高的信息融合技术,将来能否得到广泛开展仍需要长期观察。与 C 型臂一样, O 型臂可以为 TESSYS 术中提供多平面、高质量的系统成像,使术者可以准确辨别手术解剖结构,建立最佳的操作通道,从而提高手术安全性和术后优良率^[46]。近期有法国学者报道了全球首例使用手术机器人完成的经皮脊柱内镜腰椎间盘切除手术,开启了手术机器人在经皮脊柱内镜手术方面应用的新纪元^[47]。

由于 TESSYS 技术只能减压而无法建立和改善椎间稳定性、存在一定的复发率以及加速病变节段退变进程等弊端,国内外研究者及临床医生通过不断的探索和实践,将 TESSYS 技术与腰椎椎间融合术结合起来实现强强联合,以减少其术后并发症(如:复发、椎间隙变窄、椎间稳定性降低等)。Alentado 等^[48]的荟萃分析表明单纯减压手术治疗满意率约为 70%,而联合椎间融合术的满意率为 86%~90%,由此可见,减压联合腰椎椎间融合术仍是治疗腰椎退行性疾病常用而有效的方法。

伴随着智能时代和精准医疗时代的到来,新的穿刺器械和穿刺定位辅助设备将不断涌现,可任意调整方向的髓核钳、尖端可控磨钻等将最大程度的提高手术的可操作性和灵活性;髓核置换和干细胞移植促进椎间盘的修复与再生等手术,也必将成为未来最具发展潜力和最微创的脊柱内镜技术,广大的医生和患者必将从中受益。

[参考文献]

[1] Joaquim AF, Botelho RV, Mudo ML, et al. Lumbar herniated disc-endoscopic discectomy treatment [J]. *Rev Assoc Med Bras* (1992), 2018, 64(5): 397-407.

[2] Feng F, Xu Q, Yan F, et al. Comparison of 7 surgical interventions for lumbar disc herniation: a network meta-analysis [J]. *Pain Physician*, 2017, 20(6): E863-E871.

[3] Sairyo K, Higashino K, Yamashita K, et al. A new concept of transforaminal ventral facetectomy including simultaneous decompression of foraminal and lateral recess stenosis: Technical considerations in a fresh cadaver model and a literature review [J]. *J Med Invest*, 2017, 64(1/2): 1-6.

[4] Deng HL, Gao WJ, Zhu JW, et al. Percutaneous transforaminal endoscopic TESSYS technique for the treatment of bilateral lumbar disc herniation in single segment [J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2018, 31(11): 1041-1045.

[5] Kambin P, Gellman H. Percutaneous lateral discectomy of the lumbar spine. A preliminary report [J]. *Clin Orthop*, 1983, 174: 127-132.

[6] Kambin P, Brager MD. Percutaneous posterolateral discectomy. Anatomy and mechanism [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1987, (223): 145-154.

[7] Yeung AT. Minimally invasive disc surgery with the yeung endoscopic spine system (YESS) [J]. *Surg Technol Int*, 1999, 8: 267-277.

[8] Liu W, Li Q, Li Z, et al. Clinical efficacy of percutaneous transforaminal endoscopic discectomy in treating adolescent lumbar disc herniation [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(9): e14682.

[9] Hoogland T, Schubert M, Miklitz B, et al. Transforaminal posterolateral endoscopic discectomy with or without the combination of a low-dose chymopapain: a prospective

randomized study in 280 consecutive cases [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006, 31(24): E890-E897.

[10] Ruetten S, Komp M, Godolias G. A new full-endoscopic technique for the interlaminar operation of lumbar disc herniations using 6-mm endoscopes: prospective 2-year results of 331 patients [J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2006, 49(2): 80-87.

[11] Chen B, Li S, Wang Z. Clinical efficacy of percutaneous transforaminal endoscopic TESSYS technique in the treatment of senile lumbar spinal stenosis [J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(8): 9356-9363.

[12] Xiong C, Li T, Kang H, et al. Early outcomes of 270-degree spinal canal decompression by using TESSYS-ISEE technique in patients with lumbar spinal stenosis combined with disk herniation [J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(1): 78-86.

[13] Song QC, Zhao Y, Li D, et al. Percutaneous endoscopic transforaminal discectomy for the treatment of L5-S1 lumbar disc herniation and the influence of iliac crest height on its clinical effects [J]. *Exp Ther Med*, 2021, 22(2): 866.

[14] He S, Sun Z, Wang Y, et al. Combining YESS and TESSYS techniques during percutaneous transforaminal endoscopic discectomy for multilevel lumbar disc herniation [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(28): e11240.

[15] 何传正, 向峰, 张银刚, 等. 经皮椎间孔镜 TESSYS 技术治疗腰椎间盘突出症合并腰椎神经根管狭窄患者的疗效分析 [J]. *中国药物与临床*, 2021, 21(24): 4024-4026.

[16] Liu J, Wu J, Zhang H, et al. Application of a targeted and quantificational foraminoplasty device in percutaneous transforaminal endoscopic discectomy for L5-S1 disc herniation: preliminary clinical outcomes [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 398.

[17] Yu C, Zhan X, Liu C, et al. Risk factors for recurrent L5-S1 disc herniation after percutaneous endoscopic transforaminal discectomy: a retrospective study [J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26: e919888.

[18] Liu X, Yuan S, Tian Y, et al. Comparison of percutaneous endoscopic transforaminal discectomy, microendoscopic discectomy, and microdiscectomy for symptomatic lumbar disc herniation: minimum 2-year follow-up results [J]. *J Neurosurg Spine*, 2018, 28(3): 317-325.

[19] Kim M, Lee S, Kim HS, et al. A comparison of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open lumbar microdiscectomy for lumbar disc herniation in the Korean: a meta-analysis [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 9073460.

[20] Yang JS, Chu L, Chen CM, et al. Foraminoplasty at the tip or base of the superior articular process for lateral recess stenosis in percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a multicenter, retrospective, controlled study with 2-year follow-up [J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 7692794.

[21] 唐劲, 向兴胜. 经皮椎间孔镜 TESSYS 技术治疗腰椎间盘突出症合并神经根管狭窄的疗效及对筋膜代偿能力的影响 [J]. *颈腰痛杂志*, 2019, 40(5): 663-666.

[22] Zhang Y, Pan Z, Yu Y, et al. The modified transforaminal

- endoscopic technique in treating intracanalicular combining foraminal and/or extraforaminal lumbar disc herniations[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2018, 8(9): 936-945.
- [23] Lee CH, Choi M, Ryu DS, et al. Efficacy and safety of full-endoscopic decompression via interlaminar approach for central or lateral recess spinal stenosis of the lumbar spine: a meta-analysis[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(24): 1756-1764.
- [24] Tsai SH, Wu HH, Cheng CY, et al. Full endoscopic interlaminar approach for nerve root decompression of sacral metastatic tumor[J]. *World Neurosurg*, 2018, 112: 57-63.
- [25] Telfeian AE, Bajaj A, Sastry R, et al. Foraminal access strategies in patients with lumbar posterolateral fusions in transforaminal endoscopic spine surgery: case series and technical note[J]. *Pain Physician*, 2022, 25(3): E449-E455.
- [26] Passacantilli E, Lenzi J, Caporlingua F, et al. Endoscopic interlaminar approach for intracanal L5-S1 disc herniation: Classification of disc prolapse in relation to learning curve and surgical outcome[J]. *Asian J Endosc Surg*, 2015, 8(4): 445-453.
- [27] Yang H, Li P, Jia N, et al. Comparison of different transforaminal endoscope approaches in treatment of serious lumbar disc herniation[J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2020, 34(3): 300-307.
- [28] 李彦, 商澜锴, 刘晓光, 等. 经皮脊柱内镜手术教学培训模式的探索[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2019, 25(3): 199-203.
- [29] Gandham EJ, Uvaraj NR, Eum JH. Unilateral biportal percutaneous transforaminal endoscopic lumbar foraminal decompression and discectomy: a technical note[J]. *Neurol India*, 2022, 70(2): 510-514.
- [30] Bae J, Chachan S, Shin SH, et al. Transforaminal endoscopic thoracic discectomy with foraminoplasty for the treatment of thoracic disc herniation[J]. *J Spine Surg*, 2020, 6(2): 397-404.
- [31] Ahn Y, Kim CH, Lee JH, et al. Radiation exposure to the surgeon during percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a prospective study[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2013, 38(7): 617-625.
- [32] Choi KC, Lee JH, Kim JS, et al. Unsuccessful percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a single-center experience of 10 228 cases[J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(4): 372-380.
- [33] Yao Y, Liu H, Zhang H, et al. Risk factors for recurrent herniation after percutaneous endoscopic lumbar discectomy[J]. *World Neurosurg*, 2017, 100: 1-6.
- [34] Hou T, Zhou Q, Dai F, et al. Repeated microendoscopic discectomy for recurrent lumbar disk herniation[J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2015, 70(2): 120-125.
- [35] Ahn Y. Endoscopic spine discectomy: indications and outcomes[J]. *Int Orthop*, 2019, 43(4): 909-916.
- [36] Xu Z, Zheng JC, Sun B, et al. Bi-needle technique versus transforaminal endoscopic spine system technique for percutaneous endoscopic lumbar discectomy in treating intervertebral disc calcification: a propensity score matched cohort analysis[J]. *Br J Neurosurg*, 2021, 35(3): 245-250.
- [37] Gu YT, Cui Z, Shao HW, et al. Percutaneous transforaminal endoscopic surgery (PTES) for symptomatic lumbar disc herniation: a surgical technique, outcome, and complications in 209 consecutive cases[J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1): 25.
- [38] Silav G, Arslan M, Comert A, et al. Relationship of dorsal root ganglion to intervertebral foramen in lumbar region: an anatomical study and review of literature[J]. *J Neurosurg Sci*, 2016, 60(3): 339-344.
- [39] Cho JY, Lee SH, Lee HY. Prevention of development of postoperative dysesthesia in transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy for intracanalicular lumbar disc herniation: floating retraction technique[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2011, 54(5/6): 214-218.
- [40] Li Z, Yang H, Liu M, et al. Clinical characteristics and risk factors of recurrent lumbar disk herniation: a retrospective analysis of three hundred twenty-one cases[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(21): 1463-1469.
- [41] Kong M, Xu D, Gao C, et al. Risk factors for recurrent L4-5 disc herniation after percutaneous endoscopic transforaminal discectomy: a retrospective analysis of 654 cases[J]. *Risk Manag Healthc Policy*, 2020, 13: 3051-3065.
- [42] 陈铭吉, 范国鑫, 汪东冬, 等. 新型三维穿刺定位器的设计及其在经椎间孔入路经皮内窥镜技术中的尸体应用[J]. *脊柱外科杂志*, 2017, 15(5): 294-298.
- [43] Wu DY, Wu JB, Sun MJ, et al. Design of three-dimensional foraminal guide device and application in percutaneous endoscopic lumbar discectomy [J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2020, 33(10): 943-947.
- [44] 杨军, 杨群, 王博, 等. 基于 3D 打印技术构建个体化椎间孔镜穿刺导向器的设计与应用[J]. *中国组织工程研究*, 2018, 22(19): 3055-3060.
- [45] 付强, 刘彦斌, 李军, 等. 超声容积导航技术引导椎间孔镜穿刺技术的应用[J]. *中华骨科杂志*, 2016, 36(1): 1-8.
- [46] Ao S, Wu J, Tang Y, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy assisted by O-Arm-Based navigation improves the learning curve[J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 6509409.
- [47] Lefranc M, Peltier J. Evaluation of the ROSA Spine robot for minimally invasive surgical procedures[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2016, 13(10): 899-906.
- [48] 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.

(本文编辑:赵丽洁)