

椎间孔成形技术在经皮椎间孔镜下治疗腰椎退行性疾病中应用的研究进展

Advances in foraminoplasty in the treatment of lumbar degenerative diseases under percutaneous foraminoscopy

高崇皓¹, 李利军², 马 技²

(1 山西医科大学第五临床医学院 030012 太原市; 2 山西省人民医院脊柱外科 030012 太原市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.04.10

中图分类号: R681.5, R616.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-04-0353-05

腰椎退行性疾病包括退变性腰椎管狭窄症、退变性腰椎间盘突出、退变性腰椎侧凸和退变性腰椎滑脱症等^[1]。随着微创技术的迅猛发展,经皮椎间孔镜下椎间盘切除术(percutaneous transforaminal endoscopic discectomy, PTED)已成为治疗腰椎退行性疾病的有效手术方法^[2]。PTED 包括 Yeung^[3]根据安全三角工作区理论基础提出的 YESS (Yeung endoscopic spine system)技术和 Hoogland 等^[4]在 YESS 技术的理论基础上研发出的 TESSYS(transforaminal endoscopic spine system)技术。TESSYS 技术不经过范围较小的 Kambin 安全三角区进入椎间盘,而是使用逐级环锯磨除部分上关节突,扩大椎间孔,再将工作通道置入,这样可以避免和降低穿刺与置管时对出口神经根和背神经节的损伤,进一步弥补了 YESS 技术的不足^[5]。随着手术技术、导航系统、光学系统的发展,TESSYS 技术因其椎间孔成形的特性,适用的疾病越来越广泛,目前已成为治疗腰椎退行性疾病的主流技术,笔者将针对 TESSYS 技术中的椎间孔成形技术进行综述。

1 椎间孔成形的解剖学基础

Kambin^[6]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,内侧界限为硬膜囊或行走神经根,下界限为下位椎体的上终板,后侧界限为下位椎体的上关节突。刘新宇等^[7]分析了 412 例行 PTED 患者的 MRI 矢状位 T1WI 或 T2WI 影像学数据,测量 L3/4、L4/5 及 L5/S1 椎间孔高度、宽度、出口根与下位椎弓根上缘的距离,椎间隙后缘腹侧 3mm 处与上关节突的距离,收集腰椎动力位 X 线片并测量椎间孔宽度评估椎间孔成形的必要性,研究结果显示,腰椎 PTED 时多数 L3/4 节段不需要椎间孔成形, L5/S1 节段需要行椎间孔

成形的比例较高,若采用 half-half 技术结合远外侧穿刺则无需常规行椎间孔成形。虽然在“安全三角”区域进行 YESS 技术操作,基本无需对椎间孔区域的骨质进行成形处理,但是 YESS 技术需要从后外侧将内窥镜置入^[8],这可能会导致内窥镜被挤压,甚至被移位的椎间盘突出物、硬膜外瘢痕相关的突出物、严重的中央管狭窄和硬性钙化的突出物所阻挡,并且大部分腰腿痛的症状与出口神经根周围毗邻的韧带、骨组织、移位的椎间盘组织对出口神经根的压迫有很大的关系,解除神经根的压迫是缓解疼痛的关键。在 TESSYS 技术中,最关键的就是切除椎间孔区域部分骨质来扩大椎间孔的面积,可以避开阻挡物,更安全地置入工作通道,对于大部分的腰椎退行性疾病来说,上关节突根部与出口神经根的位置决定了椎间孔扩大的范围。杨晋才等^[9]通过 CT 扫描发现,出口神经根与上关节突尖部、前缘中点及根部之间的距离逐渐增大,神经根与上关节突距离最大值为神经根与上关节根部的距离,分别为 L1 4.29±0.20mm, L2 4.36±0.26mm, L3 4.61±0.44mm, L4 4.91±0.39mm, L5 5.77±0.56mm, 而 PTED 的工作通道为 7.5mm, L1~L5 出口根与上关节突根部距离均小于 7.5mm。因此将工作通道直接置入椎间孔容易造成神经根的损伤,需要将椎间孔扩大后再置入^[10]。吴波等^[11]对椎管内安全三角的椎间孔镜相关参数进行了测量,建议采用 TESSYS 技术时, L1/2、L2/3、L3/4 分别选择 5mm、6mm、7mm 直径工作套管, L4/5、L5/S1 选择 7.5mm 直径工作套管,在磨削约 3~4mm 关节突关节骨质的情况下,可以较为安全地完成 TESSYS 技术的置管过程,但若采用直径较小的工作通道,手术操作空间十分有限。目前 PTED 技术普遍使用的是 7.5mm 直径的工作套管,所以根据该学者的研究,在 L1~L5 椎间孔置入工作通道时,基本都需要切除部分关节突。在退行性腰椎疾病中,椎间孔区域骨性增生和黄韧带肥厚等都是神经根受压的关键因素,所以根据解剖、影像学参数以及椎间孔区域退行性变的情况,大部分患者使用 TESSYS 技术治疗腰椎退行性疾病时进行椎间孔成形是有

第一作者简介:男(1996-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱微创
电话:17835156682 E-mail:18435208607@163.com
通讯作者:李利军 E-mail:llj_11070715@sina.com

必要的。

2 椎间孔成形的范围

根据椎间盘突出位置、椎间孔的大小以及术中操作的需要,TESSYS 技术对于椎间孔的成形选择大致有以下 4 种:(1)上关节突尖部的成形。通过对上关节突尖部部分或大部分切除来扩大椎间孔的面积,可以更安全地深入工作套管进行手术操作,可以解决中央型、旁中央型、极外侧型、轻度向上或向下游离的腰椎间盘突出及椎间孔狭窄等,甚至还可以对侧隐窝进行减压^[12,13];也有学者根据上关节突尖部切除量的大小来研究术后腰椎的稳定性^[14]及活动度^[15]。(2)上关节突腹部的成形。单纯的腹部成形可以扩大椎间孔,可更直观地看到硬膜外前间隙,摘除相应位置的髓核^[12,16]。Hasan 等^[17]通过上关节突腹侧成形对椎间孔、行走根及侧隐窝进行减压,患者术后所有时间点的同侧小腿疼痛的 VAS 评分、背部疼痛 VAS 评分和 Oswestry 功能障碍指数(Oswestry disability index,ODI)与术前比较均有显著性改善。Qiao 等^[18]通过对 L5 上关节突腹侧的成形,对 L4/5 高度向下游离的髓核进行摘除,取得了良好的临床疗效。由于腹侧的成形破坏了小关节关节囊,很多术者在关节突成形的过程中选择将上关节突尖部与腹侧共同切除,以更好地扩大椎间孔面积进行减压,将这种方式统称为上关节突腹部成形^[19]。(3)上关节突基底部成形^[20-22]。根据腰椎间盘突出位置及手术操作空间的需要进行基底部的成形。如对极度向下游离的椎间盘突出、侧隐窝狭窄等。Yang 等^[22]对 41 例极度向下游离的椎间盘突出症患者进行上关节突基底部的成形来摘除髓核,优良率达 92.7%。Yang 等^[22]通过基底部的成形来治疗合并侧隐窝狭窄的腰椎间盘突出症患者,简化了穿刺步骤,并在减少术后神经功能障碍的发生率和缩短手术时间方面有显著优势。(4)上关节突合并下关节突成形。Sairyo 等^[23]提出“腰椎经皮内镜下小关节腹侧切除术(percutaneous endoscopic ventral facetectomy,PEVF)”的概念,用于治疗腰椎管狭窄症中的侧隐窝狭窄及椎间孔狭窄;Bao 等^[24]通过切除上关节突腹侧加部分下关节突来治疗中央型腰椎管狭窄症,取得了良好的治疗效果;李利军等^[25]的椎间孔五级成形中,4 级成形的切除范围包括上关节突大部分或伴有椎弓、峡部或下关节突小部分,该级成形可用于处理大部分较复杂的腰椎疾病。也有学者通过椎间孔入路,切除部分上下关节突进行腰椎椎体间融合术,经椎间孔入路的腰椎椎体融合术所需的手术时间较短,临床疗效和影像学改变也与经椎板间入路相似^[26]。

综上所述,上关节突尖部成形更适用于大多数椎间盘突出症,如中央型突出、旁中央型突出、极外侧突出、髓核轻度向上或向下游离型、椎间孔狭窄型等。上关节突腹侧可以解决尖部所适用的疾病范畴,但是更多学者会把上关节突腹部与尖部共同成形,以获得更大的操作空间,进行更多类型的减压,如高度向下游离型、椎间孔狭窄型、侧

隐窝狭窄型等。所以上关节突的尖部成形与腹部成形很多时候并没有明确的界限分割,上关节突基底部成形更适用于髓核极度向下游离型、侧隐窝狭窄型等;上下关节突的共同成形,适用于较复杂的腰椎退行性疾病,如髓核极度向上下游离型、椎间孔狭窄合并侧隐窝狭窄、中央型椎管狭窄、经椎间孔腰椎椎体融合等。

3 椎间孔成形的技术演进

3.1 非可视化成形

Hoogland 等^[4]在 YESS 技术的基础上提出了 TESSYS 技术,该技术使用非可视化环锯逐级切除部分上关节突,扩大椎间孔,从而使内窥镜能经椎间孔到达椎管内,但是术中损伤出口神经根的风险较大。许多学者针对非可视下成形进行了技术改进,杨晋才等^[27]通过自制的环锯对椎间孔进行一次成形即可将工作套管置入,提高了工作效率,减少了更换导杆通道的次数。方煜等^[28]使用两步成形技术治疗 42 例 L4/5 椎间盘突出的患者,采用 VAS 评分和 ODI 评定手术效果,结果显示两步法椎间孔成形技术治疗腰椎间盘突出症安全、高效、快速,需要透视次数少,手术时间明显缩短。伍博宇等^[29]针对传统 TESSYS 技术存在的不足,在靶点技术理念的指导下,设计出靶向椎间孔成形系统(ZESSYS 系统),该技术采用偏心双通道设计,较小的通道容纳穿刺导棒,较大的通道容纳成形工具,只需要穿刺至下位椎体后上缘,无需精准穿刺,根据穿刺初始部位,选择不同直径的双通道,以克氏针为中心,旋转成形通道,从而实现定量、定向的关节突关节一次成形。

3.2 可视化成形

3.2.1 可视化成形的工具 随着内窥镜系统的发展,许多操作可以在直视下进行,直视下进行椎间孔成形会有更高的安全性及工作效率等。针对直视下的椎间孔成形衍生出了各种各样的工具。(1)激光。Knight 等^[5,30]通过 Ho:YAG 激光消除骨组织及软组织行椎间孔成形,达到减压的效果,扩大手术视野,但是费用昂贵,风险较大。(2)磨钻。Yeung 等^[31]在内窥镜直视下使用磨钻磨除部分骨组织,对椎间孔进行扩大成形,是一种安全有效的成形方式。但磨钻容易向关节突腹侧滑移,效率受到明显影响^[32]。(3)环锯。可视化环锯技术^[33]可以在镜下使用环锯对上关节突进行安全、精准、有效的切除,从而进行椎间孔区域的减压及髓核摘除,较磨钻更安全,较骨凿更快速。(4)镜下骨凿^[34]。可以精确切除关节突骨质,降低神经根损伤的风险,扩大椎间孔进行减压并置入通道,但是需要术者与助手的精确配合,每次切除的骨组织相对较少,相比环锯、磨钻等工具效率较低,手术时间相应延长。(5)超声骨刀。是一种通过压电转换装置将电能转换成机械能,使钛合金刀头处于高频共振状态,对目标骨组织进行粉碎和切割。超声骨刀具有切割骨组织快、不出血、不破坏血管和神经的优点,可极大地提高手术的安全性及效率^[35]。但目前超声骨刀在经椎间孔入路的应用研究较少,大部分应用于经椎板间入路的椎板

减压,并取得了良好的效果^[26];超声骨刀在椎间孔成形中的应用尚未普及,还需要更多的实验及研究来证明其有效性及安全性。根据各种工具不同的特性及应用情况,目前镜下环锯和骨凿还是大部分学者首选的成形工具。

3.2.2 可视化成形技术的发展 在椎间孔可视化成形发展越来越成熟的基础之上,椎间孔可视化成形技术可以应用到更多的腰椎退行性疾病中。大部分学者都是在 TESSYS 技术的成形技术之上进行改进。Gu 等^[27]提出了一种新的技术,称为 Kiss-Hug 动作,使用工作套管的斜尖作为骨铰刀来扩大椎间孔,能够在内窥镜下有效扩大椎间孔而不会出现铰刀或环钻的相关并发症。Zou 等^[28]针对肥厚的上关节突和黄韧带,使用偏心环锯来扩大椎间孔,在减压侧隐窝、缓解神经根症状方面取得了满意的临床效果。He 等^[29]将 YESS 与 TESSYS 技术组合起来治疗多节段腰椎间盘突出症,YESS 技术用来移除中央型和部分旁中央型的椎间盘组织,而 TESSYS 技术则用于治疗移行性或隐匿性突出的椎间盘组织,临床效果要优于单独使用 YESS 或 TESSYS 技术。李利军等^[25]将临床经验与术前影像学进行结合,进一步对 YESS 与 TESSYS 技术进行了总结,他们将椎间孔成形分为 5 个级别:不成形(0 级)、软组织成形(1 级)、少许骨质成形(2 级)、上关节突尖部或上 1/2 成形(3 级)、上关节突大部分或伴有椎弓、峡部或下关节突小部分成形(4 级);并提出“按需成形 5 级法”,根据术前及术中评估,其中符合 0、1 级成形要求的患者采用 YESS 技术,符合 2~4 级成形要求的患者采用 TESSYS 技术。是更全面、合理且精确的椎间孔成形方式,0、1 级成形处理大部分较简单的腰椎疾病,如单纯腰椎间盘突出症、单纯极外侧腰椎间盘突出症等;2~4 级成形处理大部分较复杂的腰椎疾病,如关节突内聚、椎间盘钙化、椎体后缘离断、椎管狭窄、椎间盘脱垂游离等。

4 椎间孔成形与腰椎稳定性的关系

因为腰椎关节突关节在腰椎的稳定性中起着重要作用,所以大部分学者认为椎间孔成形会影响到腰椎的稳定性。有研究表明,外伤、退变、手术等影响关节突关节解剖结构的因素均可能导致腰椎失稳^[40]。

在经后外侧入路椎间孔成形术中,上关节突的切除是最常用的,所以绝大多数学者通过建立上关节突切除模型来研究椎间孔成形与腰椎稳定性的关系。李瑞等^[14]通过对术前、术后行术区关节突关节三维 CT+重建,根据上关节突磨削程度,分为微量磨削组(磨削程度<25%)、少量磨削组(磨削程度 25%~33%)、中量磨削组(磨削程度 33%~50%)、大量磨削组(磨削程度>50%)共 4 组,在腰椎椎间孔镜 TESSYS 技术中,上关节突磨削程度超过 33%时可影响腰椎稳定性。Li 等^[41]使用有限元分析构建从 L3~S1 的完整腰椎骨模型和相应的 PTED 模型,设定上关节突切除范围在 1/4、1/2,结果显示在上关节突切除 1/2 时,腰椎应力负荷数据比切除 1/4 上关节突明显增加。钱军等^[42]的有限

元分析研究结果也显示腰椎上关节突切除 1/4 即会部分影响腰椎的生物力学,切除 2/4、3/4、4/4 会明显破坏腰椎的生物力学稳定,而腰椎力学的经久异常会引起腰椎不稳以及腰部的慢性疼痛。

综上所述,上关节突在切除 1/4 以上时,就会对腰椎的生物力学产生影响,降低腰椎的稳定性并引发腰部的慢性疼痛。目前尚无经皮椎间孔镜下下关节突切除、上关节突合并下关节突切除与腰椎稳定性关系的研究,是未来需要进一步研究的方向。针对下关节突切除的研究,目前大多使用的方法是经后侧椎板间入路,如 Xie 等^[43]通过软件建立 L3~L5 的有限元模型,发现 L4 下关节突切除模型在向后伸展、左旋和右旋时,L4/5 椎间盘的应力均大于正常模型。

5 椎间孔成形技术的临床疗效与影像学改变

5.1 临床疗效

在治疗腰椎间盘突出症的研究中,椎间孔成形与不成形所得到的临床结果是相似的,患者的临床症状均得到明显缓解^[44];在治疗侧隐窝狭窄、中央型椎管狭窄、椎间孔区狭窄、向上或向下移位型腰椎间盘突出症等较复杂的腰椎退行性疾病时,存在骨性阻挡或通道空间不够大等问题时,需要进行椎间孔成形来解除骨性阻挡或扩大通道空间。Choi 等^[45]通过对椎间孔成形技术与非成形技术的比较中发现,经皮内窥镜下腰椎孔成形术可有效治疗椎间盘轻度移位、椎间盘极度向下移位、腰椎间盘突出复发、L5/S1 椎间盘突出伴高髂嵴、中央型腰椎间盘突出等,均取得了良好的临床疗效。通过不同程度的椎间孔成形,PTED 的手术适应证不断扩大,从而可以解决更多类型的腰椎退行性疾病^[22-24]。

5.2 影像学改变

Chung 等^[46]对 24 例腰椎椎管狭窄单侧神经根病的患者进行椎间孔成形,术后 MRI 的影像改变显示神经根和椎间孔的直径和横截面面积均有显著改善,96%的患者术前放射性疼痛得到明显改善。椎间盘移位、关节突增生、侧隐窝狭窄、椎间孔狭窄、中央椎管狭窄等退行性腰椎疾病都可以通过椎间孔成形进行减压或建立更大通道摘除椎间盘,术后 CT 和 MRI 都可以看到明显的椎间孔扩大、椎管减压、侧隐窝减压、移位椎间盘消失等影像学改变^[22-24]。不管是通过椎间孔成形进行椎间孔及其他部位减压,还是扩大椎间孔面积建立更大的工作通道进行椎间盘摘除,都可以在影像学上看到明显的椎间盘、黄韧带及骨组织的结构界面。

6 总结与展望

在临床工作中使用经皮椎间孔镜技术治疗腰椎间盘突出症或腰椎管狭窄症时,针对单纯的中央型或旁中央型椎间盘突出,可以选择使用 YESS 技术,通过安全三角区在不切除骨组织的情况下进行髓核的摘除,但是在退行性

腰椎疾病中,单纯的中央型或旁中央型的椎间盘突出只占少数,大部分患者除了椎间盘突出还会伴有椎间孔狭窄、侧隐窝狭窄、黄韧带肥厚或骨化、中央椎管狭窄等^[47],甚至会有患者存在椎间盘高度向上或向下游离的情况,针对此类患者大部分需要使用 TESSYS 技术进行椎间孔成形来扩大工作通道的面积,方便内窥镜置入,可有效在直视下摘除椎管内游离的髓核组织或对增生的骨组织、肥厚黄韧带等进行减压。针对椎间孔成形的疗效,大部分学者持肯定态度,但是对于成形以后对腰椎稳定性的影响,目前还存在很大争议,多数研究认为上关节突切除 1/4 后即可对腰椎的稳定性产生影响,当切除 1/2 后会对腰椎稳定性产生极大的影响,导致术后腰部的慢性疼痛。椎间孔成形与腰椎稳定性之间的关系是目前学术界持续关注的话题;针对不同的患者,应采用 YESS 还是 TESSYS 技术,以及应用 TESSYS 技术时不同患者的椎间孔成形范围,依旧是需要继续研究的方向。正确的手术方式选择和精确的椎间孔成形,可以大大降低手术过程中椎间孔成形范围过大所导致的腰椎不稳及慢性腰痛等症状,还可以避免手术过程中成形范围不足造成髓核组织残留、减压不充分等医源性因素所导致的症状缓解不明显。

7 参考文献

1. 李淳德. 脊柱内固定融合术在腰椎退变性疾病治疗中的作用[J]. 中华医学杂志, 2006, 86(25): 1734-1736.
2. Gadjradj PS, Rubinstein SM, Peul WC, et al. Full endoscopic versus open discectomy for sciatica: randomised controlled non-inferiority trial[J]. BMJ, 2022, 376: e65846.
3. Yeung AT. Minimally invasive disc surgery with the Yeung endoscopic spine system(YESS)[J]. Surg Technol Int, 1999, 8: 267-277.
4. 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.
5. Knight MT, Ellison DR, Goswami A, et al. Review of safety in endoscopic laser foraminoplasty for the management of back pain[J]. J Clin Laser Med Surg, 2001, 19(3): 147-157.
6. Kambin P. Arthroscopic microdiscectomy[J]. Mt Sinai J Med, 1991, 58(2): 159-164.
7. 刘新宇, 原所茂, 田永昊, 等. 经皮内镜椎间孔入路椎间盘切除术中常规行椎间孔成形的必要性[J]. 中华骨科杂志, 2019 (19): 1165-1172.
8. Jasper GP, Francisco GM, Telfeian AE. Endoscopic transforaminal discectomy for an extruded lumbar disc herniation [J]. Pain Physician, 2013, 16(1): E31-E35.
9. 杨晋才, 张黎明, 尹鹏, 等. 腰椎出口神经根与上关节突毗邻关系的 CT 观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(10): 888-894.
10. 方国芳. 下腰椎微创手术的应用解剖及临床应用[D]. 南方医科大学, 2014.
11. 吴波, 赵庆豪, 周萧齐, 等. 腰椎间孔镜的应用解剖[J]. 中国临床解剖学杂志, 2017, 35(1): 5-8.
12. 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.
13. Qiao P, Xu T, Zhang W, et al. Foraminoplasty affects the clinical outcomes of discectomy during percutaneous transforaminal endoscopy: a two-year follow-up retrospective study on 64 patients[J]. Int J Neurosci, 2021, 131(1): 1-6.
14. 李瑞, 孙兆忠, 房清敏, 等. 椎间孔镜 TESSYS 技术上关节突磨削程度对腰椎稳定性的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2018, 26(10): 898-903.
15. 余洋, 樊效鸿, 顾党伟, 等. 腰椎经皮内镜下不同部位关节突成形对相关节段活动度的影响[J]. 医用生物力学, 2019, 34(1): 35-39.
16. Hua W, Zhang Y, Wu X, et al. Full-endoscopic visualized foraminoplasty and discectomy under general anesthesia in the treatment of L4-L5 and L5-S1 disc herniation[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2019, 44(16): E984-E991.
17. Hasan S, White-Dzuro B, Barber JK, et al. The endoscopic trans-superior articular process approach: a novel minimally invasive surgical corridor to the lateral recess[J]. Oper Neurosurg(Hagerstown), 2020, 19(1): E1-E10.
18. Qiao L, Liu JY, Tang XB, et al. The trans-superior articular process approach utilizing visual trephine: a more time-saving and effective percutaneous endoscopic transforaminal lumbar discectomy for migrated lumbar disc herniation [J]. Turk Neurosurg, 2022, 32(4): 612-617.
19. Ouyang ZH, Tang M, Li HW, et al. Full-endoscopic foraminoplasty using a visualized bone reamer in the treatment of lumbar disc herniation: a retrospective study of 80 cases[J]. World Neurosurg, 2021, 149: e292-e297.
20. Li ZZ, Hou SX, Shang WL, et al. Percutaneous lumbar foraminoplasty and percutaneous endoscopic lumbar decompression for lateral recess stenosis through transforaminal approach: technique notes and 2 years follow-up[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2016, 143: 90-94.
21. 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.
22. Yang F, Li P, Zhao L, et al. Foraminoplasty at the base of the superior articular process with bone drilling for far-downward discs in percutaneous endoscopic lumbar discectomy: a retrospective study[J]. J Pain Res, 2021, 14: 3919-3925.
23. Sairyo K, Chikawa T, Nagamachi A. State-of-the-art transforaminal percutaneous endoscopic lumbar surgery under lo-

- cal anesthesia: discectomy, foraminoplasty, and ventral facetectomy[J]. *J Orthop Sci*, 2018, 23(2): 229–236.
24. Bao BX, Zhou JW, Yu PF, et al. Transforaminal endoscopic discectomy and foraminoplasty for treating central lumbar stenosis[J]. *Orthop Surg*, 2019, 11(6): 1093–1100.
25. 李利军, 宋杰富, 海涌, 等. 椎间孔镜按需成型 5 级法在经椎间孔入路治疗腰椎退变性疾病中的应用分析[J]. *中华显微外科杂志*, 2022, 45(3): 324–328.
26. Kim HS, Wu PH, An JW, et al. Evaluation of two methods (inside-out/outside-in) inferior articular process resection for uniportal full endoscopic posterolateral transforaminal lumbar interbody fusion: technical note[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(9): 1169.
27. 杨晋才, 海涌, 关立, 等. 自制环锯椎间孔一次成型技术在经椎间孔入路经皮内窥镜下椎间盘切除术中的临床价值 [J]. *脊柱外科杂志*, 2015, 13(6): 351–355.
28. 方煜, 肖丹. 两步法椎间孔成型技术在腰椎椎间孔入路脊柱内镜手术中的临床应用[J]. *现代实用医学*, 2019, 31(7): 935–937.
29. 伍搏宇, 徐峰, 康辉, 等. 靶向椎间孔成型技术在腰椎内镜中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(15): 1350–1354.
30. Knight MT, Goswami A, Patko JT, et al. Endoscopic foraminoplasty: a prospective study on 250 consecutive patients with independent evaluation[J]. *J Clin Laser Med Surg*, 2001, 19(2): 73–81.
31. Yeung AT, Tsou PM. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: Surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2002, 27(7): 722–731.
32. 吴忌, 李越, 楚福明, 等. 内镜可视化“V”区解剖引导下椎间孔成形术[J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28(15): 1418–1421.
33. Lin YP, Wang SL, Hu WX, et al. Percutaneous full-endoscopic lumbar foraminoplasty and decompression by using a visualization reamer for lumbar lateral recess and foraminal stenosis in elderly patients [J]. *World Neurosurg*, 2020, 136: e83–e89.
34. 王贺, 谢昌达, 王辰超, 等. 经皮椎间孔入路脊柱内镜下应用骨凿技术减压治疗老年单侧腰椎侧隐窝狭窄的疗效[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2021, 42(6): 813–816.
35. 孙德舜, 宋义博, 李庆斌, 等. 超声骨刀在椎间孔镜下髓核摘除术中的应用[J]. *中医正骨*, 2014, 26(11): 9–11.
36. Moon R, Srikandarajah N, Clark S, et al. Primary lumbar decompression using ultrasonic bone curette compared to conventional technique[J]. *Br J Neurosurg*, 2021, 35(6): 775–779.
37. Gu S, Hou K, Jian W, et al. Working cannula-based endoscopic foraminoplasty: a technical note[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 4749560.
38. Zou HJ, Hu Y, Liu JB, et al. Percutaneous endoscopic transforaminal lumbar discectomy via eccentric trepan foraminoplasty technology for unilateral stenosed serve root canals[J]. *Orthop Surg*, 2020, 12(4): 1205–1211.
39. 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.
40. Taylor JR, Twomey LT. Age changes in lumbar zygapophyseal joints: observations on structure and function[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1986, 11(7): 739–745.
41. Li J, Li H, He Y, et al. The protection of superior articular process in percutaneous transforaminal endoscopic discectomy should decreases the risk of adjacent segment diseases biomechanically[J]. *J Clin Neurosci*, 2020, 79: 54–59.
42. 钱军, 余水生, 刘建军, 等. 全脊柱内镜下椎间孔成型对腰椎生物力学的影响[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(13): 1013–1018.
43. Xie Y, Zhou Q, Wang X, et al. The biomechanical effects of foraminoplasty of different areas under lumbar percutaneous endoscopy on intervertebral discs: a 3D finite element analysis[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2020, 99(17): e19847.
44. Wu B, Zhan G, Tian X, et al. Comparison of transforaminal percutaneous endoscopic lumbar discectomy with and without foraminoplasty for lumbar disc herniation: a 2-year follow-up [J]. *Pain Res Manag*, 2019, 2019: 6924941.
45. Choi KC, Shim HK, Park CJ, et al. Usefulness of percutaneous endoscopic lumbar foraminoplasty for lumbar disc herniation[J]. *World Neurosurg*, 2017, 106: 484–492.
46. Chung J, Kong C, Sun W, et al. Percutaneous endoscopic lumbar foraminoplasty for lumbar foraminal stenosis of elderly patients with unilateral radiculopathy: radiographic changes in magnetic resonance images[J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2019, 80(4): 302–311.
47. Yeung AT. The evolution of percutaneous spinal endoscopy and discectomy: state of the art[J]. *Mt Sinai J Med*, 2000, 67(4): 327–332.
- (收稿日期:2022-07-27 末次修回日期:2022-10-10)
(本文编辑 卢庆霞)