·临床研究·

经皮内镜椎间孔入路腰4/5与腰5/骶1腰椎间盘切除术学习曲线对比

陈锦旭，邓德礼，梁和胜
（广州市番禺区中心医院脊柱外科，广东 广州 511400）

摘　要：【目的】探讨经皮内镜椎间孔入路腰椎间盘切除术（PETD）治疗L4/5与L5/S1椎间盘突出症学习曲线的对比。【方法】纳入2019年12月至2020年11月由同一术者施行PETD治疗L4/5和L5/S1椎间盘突出症患者各51例。根据治疗时间把每个节段分为3个小组：最早的第1~17名患者为A组，第18~34名患者分为B组，第35~51名患者分为C组。对各组各阶段手术时间、射线暴露时间、视觉模拟量表（VAS）评分和Oswestry功能障碍指数（ODI）评分进行评估。【结果】随访时间平均为8.4个月［最短6个月，最长12个月，中位数为8.0（7.0~9.3）个月］。L4/5节段手术时间在A组和B组（P=0.006）和A组和C组（P=0.000）之间的差异均有统计学意义，而L5/S1节段A组和C组差异有统计学意义（P=0.000），但A组和B组差异无统计学意义（P=0.344）。与L4/5节段相比，L5/S1每个节段的手术时间明显更长，A组差异无统计学意义，B组、C组及合计差异均有统计学意义（A组：P=0.080，B组：P=0.000，C组：P=0.016，Total：P=0.000）。L4/5节段的平均射线暴露时间组内差异均有统计学意义，A组和B组（P=0.000）以及A组和C组（P=0.000）。然而，在L5/S1节段上，A组和B组之间差异无统计学意义（P=0.995），但A组和C组差异有统计学意义（P=0.000）。L5/S1各组的射线暴露时间明显长于L4/5水平，差异有统计学意义（A组：P=0.000，B组：P=0.000，C组：P=0.000，总计：P=0.000）。L4/5节段VAS评分组内差异均无统计学意义，A组和B组（P=0.967）和A组和C组（P=0.927）。ODI评分组内差异均有统计学意义，A组和B组（P=0.036）以及A组和C组（P=0.011）。L5/S1节段VAS评分组内差异无统计学意义，A组和B组（P=0.397）和A组和C组（P=0.960），ODI评分改善差异同样无统计学意义A组和B组（P=0.207）以及A组和C组（P=0.109）。【结论】PETD治疗L4/5和L5/S1腰椎间盘突出症都可以取得满意的临床疗效。L5/S1节段的手术时间和射线暴露时间均长于L4/5节段。L4/5节段学习曲线比L5/S1节段更陡峭。选择合适的病例对于缩短PETD的学习曲线非常重要。

关键词：腰椎间盘突出症；经皮内镜椎间孔入路腰椎间盘切除术；学习曲线
中图分类号：R687.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-3554（2022）05-0845-07
DOI：10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ（med.sci）.2022.0519

Comparisons of the Learning Curve at the L4/5 and L5/S1 Level for Percutaneous Endoscopic Transforaminal Discectomy

CHEN Jin-xu，DENG De-li，LIANG He-sheng
（Department of Orthopedics，Central Hospital of Panyu District，Guangzhou 511400，China）
Correspondence to：LIANG He-sheng；E-mail：501390629@qq.com

Abstract：【Objectives】To evaluate the learning curve for percutaneous endoscopic transforaminal discectomy（PETD）at L4/5 level and L5/S1 level respectively，and to evaluate the differences of learning curve for PETD between the two levels.【Methods】Two batches of the first 51 cases who were each treated with PETD for L4/5 or for L5/S1 disc herniation re-

收稿日期：2022-06-17
基金项目：广州市科技计划项目（202201011710）
作者简介：陈锦旭，硕士，住院医师，研究方向：脊柱退行性变，E-mail：314442934@qq.com；梁和胜，通信作者，副主任医师，E-mail：501390629@qq.com

spectively in the department between December 2019 and November 2020 were reviewed. The operation time, radiation exposure time, VAS score, preoperative ODI score, and the postoperative follow-up were reviewed. Each level was divided into three groups: for the earliest stage, Patients #1~17 were assigned to Group A; for the middle stage, Patients #18~34 were assigned to Group B; and for the latest stage, Patients #35~51 were assigned to Group C.【Results】All patients were observed postoperatively for 8.4 months [range: 6 months-12 months, M (P_{25}~P_{75}) = 8.0(7.0~9.3)months]. Significant differences were observed in the mean operation time for L4/5 level both between Group A and Group B (P=0.006) and between Group A and Group C (P=0.000), while for the average operation time for L5/S1 level there was significant difference between Group A and Group C (P=0.000), but not between Group A and Group B (P=0.344). Compared with the operation time at L4/5 level, the operation time at L5/S1 was significantly longer for each stage (Group A: P=0.080, Group B: P=0.000, Group C: P=0.016, Total: P=0.000). The average X-ray exposure period at each Group A L4/5 level was shortened successively, and there were significant differences between Group A and Group B (P=0.000), also between Group A and Group C (P=0.000). However, the mean radiation time of the three stages in L5/S1 level improved less rapidly than that in L4/5 level, in which significant difference was not observed between Group A and Group B (P=0.995), but was between Group A and Group C (P=0.000). The radiation exposure time at L5/S1 was significantly longer than L4/5 level for each stage (Group A: P=0.000, Group B: P=0.000, Group C: P=0.000, Total: P=0.000). In the improvement of VAS score among 3 stages for L4/5 level, no significant differences were observed neither between Group A and Group B (P=0.967) nor between Group A and Group C (P=0.927). Higher improvement in the ODI score was observed in L4/5 level both between Group A and Group B (P=0.036) and between Group A and Group C (P=0.011). There was no significant difference in the improvement of VAS score for L5/S1 level neither between Group A and Group B (P=0.397) nor between Group A and Group C (P=0.960); neither was there any significant difference in the improvement of ODI score both between Group A and Group B (P=0.207) and between Group A and Group C (P=0.109).【Conclusions】The learning curve in the L4/5 level is steeper than that in the L5/S1 level. Suitable patient selection is of much importance for shortening the learning curve for PETD.

Key words: lumbar disk herniation; percutaneous endoscopic transforaminal discectomy; learning curve

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci),2022,43(5):845-851]

经皮内镜椎间孔入路腰椎间盘切除术(percutaneous endoscopic transforaminal discectomy,PETD)逐渐替代传统开放式腰椎间盘切除术,成为治疗单节段腰椎间盘突出症的首选[1-3]。PETD通常在局部麻醉下进行,并且保留了正常的椎旁结构,能最小化术后硬膜外瘢痕形成和减少腰椎不稳定的风险[4-5]。此外,PETD还具有术后疼痛轻微、住院时间短和尽早恢复社会活动的优点[6]。然而,PETD技术具有"陡峭"的学习曲线[7-8]。此外,尽管并发症发生率较低,但仍有神经血管损伤、内脏损伤、椎间隙感染等主要并发症,这可能是早期手术操作不熟练所致[9]。有研究则指出PETD失败率和并发症率相对较低,且均有获得良好的疗效,学习曲线并非难以接受[9]。虽然不少研究强调了微创腰椎间盘切除术有着陡峭的学习曲线[10-12],但关于PETD学习曲线的研究仍然非常有限,且多数是研究L4/5节段的学习曲线,缺乏L5/S1节段PETD的学习曲线研究以及两个节段之间学习曲线的对比。有研究报道了L4/5节段PETD比L5/S1节段更容易掌握,但该研究观察指标只评估了手术时间、住院时间和临床疗效,没有对射线暴露时间这一关键指标纳入研究[13]。在本研究中,我们系统地评估了PETD技术在L5/S1节段的学习曲线以及L4/5和L5/S1节段之间PETD学习曲线的对比。

1 材料与方法

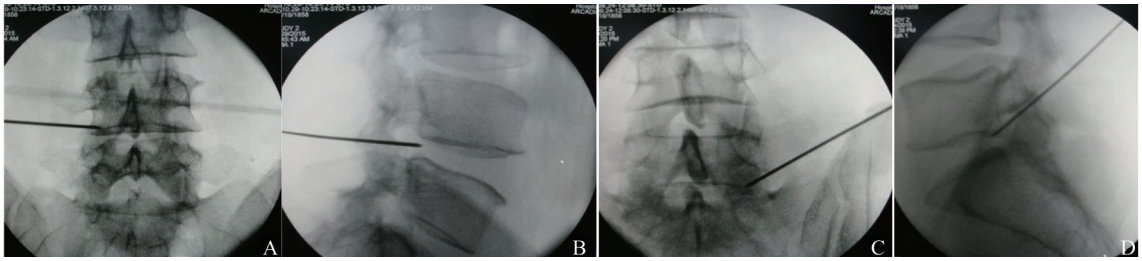
1.1 一般资料

回顾性分析2019年12月至2020年11月我科同一术者主刀PETD治疗L4/5和L5/S1各最初51例椎间盘突出症患者的临床指标和随访资料。根据治疗时间把每个节段分为3个小组:最早的第1~17名患者为A组,第18~34名患者分为B组,第35~51名患者分为C组。术者为低年资副主任医师,以

一助身份完成腰椎后路融合内固定手术上千例，独立开展椎间孔镜手术前于上级医院进修学习半年的脊柱微创手术，并参加两次短期的椎间孔镜实操班学习。本研究PETD治疗腰椎间盘突出症的纳入标准：单节段L4/5或L5/S1椎间盘突出；有手术适应症，如神经根疼痛、麻木症状；保守治疗3个月无效。排除标准：合并退行性脊柱侧凸、脊柱不稳和马尾综合征；主要症状为腰背部轴性痛；既往腰椎介入手术后；腰椎管狭窄症；合并严重基础疾病不能耐受手术者。所有患者均已在入院时签署知情同意书，并通过医院医学伦理委员会审批，审批号为2022-02-003。

1.2　手术操作

PETD在局部麻醉下进行，患者取屈髋屈膝俯卧位。根据术前MRI图像测量，皮肤穿刺点通常距中线约10~13 cm。透视下确定手术节段及皮肤穿刺点。用10 g/L利多卡因局部浸润麻醉皮肤穿刺点后，透视下置入18号穿刺针，到达上关节突骨面后透视确认，并顺着上关节突边缘滑入椎间孔，再次C臂机透视确认抵达靶点。最佳靶点在C臂机正位透视下穿刺针投影应位于椎弓根中心或内缘，侧位透视深度为椎体后缘（图1）。椎间孔内缓慢推注10 g/L利多卡因3~5 mL。然后通过穿刺针置入导丝，取出穿刺针，用手术刀片在穿刺部位做一个长约7 mm皮肤切口，沿着导丝插入锥形扩张器逐级扩张，置入工作通道，透视下调整工作通道位置。入镜后通过双极射频清除清理椎间孔周围软组织。如L5/S1高髂嵴和大横突阻挡，导致工作通道位置不理想，可直视下使用环锯或磨钻去除L5或S1上关节突尖部，行椎间孔成形，并调整工作通道至合适位置，髓核钳钳除部分黄韧带，找出目标间隙。髓核钳钳取突出纤维环及髓核，双极射频刀头射频消融椎间盘组织及彻底止血，探查硬膜囊及神经根松解满意，确切止血后缝合术口，并以无菌敷料覆盖。



A: The spinal needle was introduced on the medial border line of the pedicle at L4/5 level in anteroposterior fluoroscopic image. B: The spinal needle was introduced on the posterior vertebral line at L4/5 level in lateral fluoroscopic image. C: The spinal needle was introduced at the optimal insertion point with a large inclination angle at L5/S1 level in anteroposterior fluoroscopic image. D: The spinal needle was introduced at the target point at L5/S1 level in lateral fluoroscopic image.

图1　穿刺针的合适靶点

Fig. 1　The suitable target of the spinal needle

1.3　统计分析

研究数据使用SPSS 28.0进行统计分析。连续变量的计量资料进行正态性检验，符合正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，符合正态分布且方差齐的计量资料用t检验进行分析，不符合正态分布或方差齐性的计量资料用Mann-Whitney检验。计数资料以频数表示，分类资料采用卡方检验分析。三个手术时期资料比较用方差分析，方差分析有统计学意义后再采用Bonferroni法对三个阶段各时间点进行多重比较。在本研究中，$P<0.05$认为差异具有统计学意义。

2　结　果

2.1　患者一般情况的对比

本研究分别序贯性纳入51例PETD治疗L4/5与L5/S1腰椎间盘突出症患者。术后随访时间平均为8.4个月（最短6个月，最长12个月）。比较两组病例年龄、性别和术前症状持续时间，差异均无统计学意义（$P>0.05$；表1）。本研究中腰椎间盘突出类型分为旁中央型、中央型、脱垂型，其中L4/5腰椎间盘突出旁中央型26例，中央型15例，脱垂型10例，而L5/S1旁中央型28例，中央型13例，脱垂型10例，差异无统计学意义（$\chi^2=0.217$，$P=$

表1 两组临床特征的比较

Table 1 Comparison of clinical characteristics of patients in each group

Parameters	L4/5	L5/S1	χ^2/t	P
Sex ratio/(female/male)	27/24	21/30	1.417	0.234
Mean age/years	43.7±16.8	40.1±12.2	1.245	0.216
Mean duration of symptom/months	9.5±7.2	7.4±6.7	1.469	0.145

0.897)。L4/5责任节段存在骨赘增生20例,无骨赘增生31例,而L5/S1存在骨赘增生16例,无骨赘增生35例,两者差异无统计学意义(χ^2=0.682,P=0.407)。

2.2 手术操作的指标比较

L4/5节段平均手术时间A组(111.4±17.1) min,B组(94.0±13.9) min,C组(76.9±17.9) min,A组和B组以及A组和C组差异均有统计学意义,(F=18.861,P=0.000,A组和B组,P=0.006;A组和C组,P=0.000;表2)。L5/S1节段的平均手术时间为A组(121.6±16.2) min,B组(115.0±16.3) min,C组(90.4±12.8) min,其中A组和C组差异有统计学意义(F=19.967,P=0.000),但A组和B组差异无统计学意义(A组和B组,P=0.344;A组和C组,P=0.000)。除A组外,L5/S1节段的手术时间比L4/5节段更长,差异有统计学意义(A组t=−1.805,P=0.080,B组t=−4.044,P=0.000,C组t=−2.537,P=0.016,总计t=−3.629,P=0.000)。

L4/5节段平均射线暴露时间为A组(12.0±2.4) min,B组(8.5±1.8) min,C组(7.6±1.8) min,A组和B组以及A组和C组差异均有统计学意义,(F=23.362,P=0.000,A组和B组,P=0.000;A组和C组,P=0.000)。L5/S1射线暴露时间则依次为A组(17.4±2.5) min、B组(17.3±1.9) min和C组(13.1±2.9) min,其中A组和C组差异有统计学意义,但A组和B组差异无统计学意义(F=22.659,P=0.000,A组和B组,P=0.995;A组和C组,P=0.000;表2)。与L4/5节段各期相比,L5/S1射线暴露时间均更长,差异均有统计学意义(A组t=−6.340,P=0.000,B组t=−14.02,P=0.000,C组t=−8.720,P=0.000,总计t=−11.69,P=0.000;表2)。

2.3 手术疗效指标的对比

L4/5节段平均术前VAS评分为7.5±1.0,末次随访VAS改善至1.7±1.0,差异有统计学意义(Z=−8.833,P=0.000)。其中,各分期VAS评分的改善值分别为5.8±1.6、5.9±1.3和5.9±1.8,A组和B组以及A组和C组差异均无统计学意义(F=0.054 P=0.947,A组和B组,P=0.967;A组和C组,P=0.927)。L4/5节段的平均ODI评分为52.0±5.7,末次随访能改善至31.8±5.5,差异有统计学意义(F=0.325,P=0.000)。末次随访各分期ODI评分的改善值分别为18.0±3.7、21.1±3.9和21.6±3.4。A组和B组以及A组和C组之间差异均有统计学意义(F=4.807,P=0.013,A组和B组,P=0.036;A组与C

表2 两组手术时间、射线暴露时间的比较

Table 2 Comparison of operation time and X-ray exposure time in each group

Parameters		Patient Group		
		Group A	Group B	Group C
Radiography time/seconds	L4/5	12.0±2.4	7.5±1.8	7.6±1.8
	L5/S1	17.4±2.5	17.3±1.9	13.1±2.9
Operation time/minutes	L4/5	111.4±17.1	94.0±13.9	76.9±17.9
	L5/S1	121.6±16.2	115.0±16.3	90.4±12.8

Radiography time: ANOVA, L4/5: F=23.362, P=0.000, Group A and B, P=0.000; Group A and C, P=0.000; L5/S1: F=22.659, P=0.000, Group A and B, P=0.995; Group A and C, P=0.000; operation time: ANOVA, L4/5: F=18.861, P=0.000, Group A and B, P=0.006; Group A and C, P=0.000; L5/S1: F=19.967, P=0.000, Group A and B, P=0.344; Group A and C, P=0.000.

组，P=0.011）。

L5/S1节段平均术前VAS评分为7.4±1.1，术后末次随访能改善至2.0±1.0，差异有统计学意义（Z=−8.806，P=0.000）。末次随访各分期VAS评分改善值分别为5.2±1.6、5.8±1.5和5.4±1.3，A组和B组以及A组和C组之间差异均无统计学意义（F=0.780，P=0.464，A组和B组，P=0.397；A组和C组，P=0.960）。L5/S1节段平均术前ODI评分为51.7±6.3，术后末次随访改善至31.6±5.7，差异有统计学意义（F=0.714，P=0.000）。末次随访各分期ODI评分改善值依次为18.5±4.3、20.7±4.5和21.2±3.5。A组和B组以及A组和C组差异无统计学意义（F=2.100，P=0.134，A组和B组，P=0.207；A组和C组，P=0.109；表3）。

2.4　手术并发症的对比

L4/5节段共发生3例手术并发症（5.88%），其中A组第13例和B组第23例有症状性椎间盘残留，经止痛、营养神经、康复理疗等保守治疗3月后症状缓解；C组第42例发生脑脊液漏，患者术后轻度头痛，无下肢神经症状，予头低脚高位、加强补液处理2周后症状缓解出院。L5/S1节段共发生4例手术并发症（7.84%），其中A组第3例发生出口神经根损伤，术后伸踇长肌肌力C级，L5神经根支配区感觉麻木，考虑置入工作通道位置不佳挤压神经根所致，术后予激素消肿、甘露醇脱水、营养神经等保守治疗，指导患者加强下肢功能锻炼，6月后复查下肢肌力及感觉麻木恢复正常；A组第11例和B组第28例发生症状性椎间盘残留，均予止痛、营养神经、康复理疗等保守治疗后症状缓解；C组第48例发生脑脊液漏，患者术后无诉头晕头痛，无下肢神经症状，嘱尽量卧床休息2周。两组均未发生椎间隙感染、椎管内血肿等手术并发症。两组手术并发症发生率差异无统计学意义（χ^2=0.153，P=0.695）。

3　讨论

微创技术在腰椎手术中的应用可以追溯到20世纪70年代，主要涉及经皮技术和显微椎间盘切除术。20世纪90年代以来，基于水介质下的PETD治疗腰椎间盘突出症开始迅猛发展[8]。与传统的腰椎开放手术相比，PETD具有许多优势，包括是局麻手术，保留正常的后路和椎旁结构，损伤少、出血少、恢复快[5]。然而，尽管可以通过培训和选择适当病例来减缓PETD的学习曲线，仍然认为PETD的学习曲线是相对陡峭的[7]。通过适当的培训，PETD学习曲线是稳定的且能取得良好效果[9]。研究认为PETD示范教学也是PETD技术顺利开展的重要因素[8]。近期有研究表明，O臂导航辅助下PETD手术治疗腰椎间盘突出是安全有效的，并且能改善学习曲线，降低手术难度，减少射线暴露[14]。此外，L5/S1独特的高位髂嵴可能使其器械操作比L4/5节段难度更大，进而影响手术疗效[15]。

目前已有相关研究讨论PETD的学习曲线。然而，关于L4/5和L5/S1节段PETD学习曲线的对比研究仍比较缺乏。本研究进一步表明，PETD治疗L4/5和L5/S1腰椎间盘突出症是一种有效且安全的手术方法。术后患者VAS评分和ODI评分均有明显改善。本研究也证实了L4/5水平和L5/S1水平之间的学习曲线存在一些差异。由于高髂嵴的阻挡，L5/S1节段的学习曲线比L4/5水平的学习曲线更陡峭，手术时间和射线暴露时间更长。在

表3　两组临床疗效的比较

Table 3　Comparison of clinical outcome in each group

Parameters		Patient Group		
		Group A	Group B	Group C
Improvement of VAS score	L4/5	5.8±1.6	5.9±1.3	5.9±1.8
	L5/S1	5.2±1.6	5.8±1.5	5.4±1.3
Improvement of ODI score	L4/5	18.0±3.7	21.1±3.9	21.6±3.4
	L5/S1	18.5±4.3	20.7±4.5	21.2±3.5

Improvement of VAS score: ANOVA, L4/5: F=0.054, P=0.947, Group A and B, P=0.967; Group A and C, P=0.927; L5/S1: F=0.780, P=0.464, Group A and B, P=0.397; Group A and C, P=0.960; Improvement of ODI score: ANOVA, L4/5: F=4.807, P=0.013, Group A and B, P=0.036; Group A and C, P=0.011; L5/S1: F=2.100, P=0.134, Group A and B, P=0.207; Group A and C, P=0.109.

L4/5节段,手术时间和辐射时间都依次显著减少,而在L5/S1节段直到C组才显著减少。PETD治疗L4/5和L5/S1腰椎间盘突出症均能获得良好的临床疗效。VAS评分均有明显改善,且两组之间没有显著差异。但L4/5节段ODI评分在A组和B组以及A组和C组有更高的改善,而L5/S1节段则没有。

PETD手术疗效很大程度取决于术者手术操作技术[16]。此外,不适当的病例选择也可能会导致手术疗效欠佳[6]。初始的穿刺和通道置入是PETD最重要的步骤之一。最佳定位点应为正位片上椎弓根中心或内缘,侧位片则为椎体后缘。与L4/5节段相比,L5/S1空间独特的解剖学特征如高髂嵴和肥大关节突关节的阻挡,使其难以将穿刺针及工作通道置于最佳目标点,从而需频繁调整穿刺针角度,增加射线暴露时间,也更容易损伤出口神经根。穿刺针角度增大也同时使得镜下操作空间变小,增加术中残留突出椎间盘的风险。因此,合适的病例选择对于确保PETD满意疗效至关重要。

本研究比较了L4/5节段和L5/S1节段PETD的学习曲线。PETD治疗L4/5水平和L5/S1水平都可以获得出色的临床和微创结果。然而,L4/5节段的学习曲线比L5/S1的更陡峭,即对于初学者来说,L4/5节段更容易掌握。L5/S1节段比L4/5节段手术时间和射线暴露时间更长。因此,我们建议术者开展PETD技术时选择L4/5椎间盘突出病例作为初始病例。随着L4/5节段PETD成功率的提高,术者手术操作更为熟练及建立足够的自信心后,再选择L5/S1节段病例。此外,经皮穿刺腰椎神经根阻滞可以练习准确进针的技巧。有研究认为开展前期的选择性神经阻滞术操作训练有助于减少PETD手术时间和射线暴露时间,并且能减少手术并发症[17]。

本研究存在以下几个不足之处。首先,由于本研究由同一术者序贯完成PTED治疗L4/5与L5/S1腰椎间盘突出病例,两节段间学习进程可能会被相互影响,而这难以避免。其次,本研究平均随访时间为8.4月,随访时间不够长,且随访时间不一致,更长的随访结果是我们今后需改进的方向。另外,本研究只纳入L4/5与L5/S1腰椎间盘突出病例,上腰椎椎间盘突出由于其位于生理性胸椎后凸与腰椎前凸交界区,该处硬膜囊与椎间隙空间狭窄,PETD手术风险更高,难度更大,因此上腰椎PETD学习曲线也值得探究。

总之,PETD可以获得良好的临床疗效。L5/S1的学习曲线比L4/5的更难以掌握,需要更长的学习周期。L5/S1水平比L4/5水平有更多的手术时间和更多的辐射暴露时间。应选择合适病例以减缓PETD的学习曲线。建议术者优先选择L4/5节段病例入手,由简入繁,待时机合适,再扩展至L5/S1节段。

参考文献

[1] Chen Y, Wang JX, Sun B, et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy in treating calcified lumbar intervertebral disc herniation[J]. World Neurosurg, 2019, 12(2): e1449-e1456.

[2] 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.

[3] 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, 1-8. doi: 10.1155/2018/9073460.

[4] Lee SH, Chung SE, Ahn Y, et al. Comparative radiologic evaluation of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open microdiscectomy: a matched cohort analysis[J]. Mt Sinai J Med, 2006, 73(5): 795-801.

[5] Lee DY, Ahn Y, Lee SH. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for adolescent lumbar disc herniation: surgical outcomes in 46 consecutive patients[J]. Mt Sinai J Med, 2006, 73(6): 864-870.

[6] Lee DY, Shim CS, Ahn Y, et al. Comparison of percutaneous endoscopic lumbar discectomy and open lumbar microdiscectomy for recurrent disc herniation[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2009, 46(6): 515-521.

[7] Kafadar A, Kahraman S, Akbörü M. Percutaneous endoscopic transforaminal lumbar discectomy: a critical appraisal[J]. Minim Invasive Neurosurg, 2006, 49

(2)：74-79.

[8] Wang H，Huang B，Li C，et al. Learning curve for percutaneous endoscopic lumbar discectomy depending on the surgeon's training level of minimally invasive spine surgery[J]. Clin Neurol Neurosurg，2013，115(10)：1987-1991.

[9] Lonner BS，Scharf C，Antonacci D，et al. The learning curve associated with thoracoscopic spinal instrumentation[J]. Spine (Phila Pa 1976)，2015，2835-2840.

[10] Mcloughlin GS，Fourney DR. The learning curve of minimally-invasive lumbar microdiscectomy[J]. Can J Neurol Sci，2007，35(1)：75-78.

[11] 于红光.椎间盘靶点射频热凝术治疗腰椎间盘突出症的临床疗效[J].广东医学，2020，41(5)：520-524；+530.
Yu HG. Clinical effect of radiofrequency thermocoagulation on lumbar disc herniation[J]. J Guangdong Med，2020，41(5)：520-524；+530.

[12] Patel AA，Ren P，Wang B，et al. An evaluation of the learning curve for a complex surgical technique ：the full endoscopic interlaminar approach for lumbar disc herniations[J]. Spine J，2011，11(2)：122-130.

[13] Wu XB，Fan GX，Gu X，et al. Learning curves of percutaneous endoscopic lumbar discectomy in transforaminal approach at the L4/5 and L5/S1 levels：a comparative study[J]. J Zhejiang Univ Sci B，2016，17(7)：553-560.

[14] 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，doi：10.1155/2019/6509409.

[15] Therapy P，Surgery O. Use of newly developed instruments and endoscopes：full-endoscopic resection of lumbar disc herniations via the interlaminar and lateral transforaminal approach[J]. J Neurosurg Spine，2007，6(6)：521-530.

[16] Ahn Y，Lee SH，Park WM，et al. Percutaneous endoscopic lumbar discectomy for recurrent disc herniation：surgical technique，outcome，and prognostic factors of 43 consecutive cases[J]. Spine (Phila Pa 1976)，2004，29(16)：E326-E332.

[17] Sun B，Wu H，Xu Z，et al. Is selective nerve root block necessary for learning percutaneous endoscopic lumbar discectomy：a comparative study using a cumulative summation test for learning curve[J]. Int Orthop，2020，44(7)：1367-1374.

（编辑　余　菁）