

腰椎椎间孔狭窄症的影像学诊断和治疗进展

Radiological diagnosis and treatment of lumbar foramen stenosis

管晓菲, 范国鑫, 吴信波, 胡安南, 贺石生

(同济大学附属第十人民医院骨科 200072 上海延长路 301 号)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2015.06.12

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2015)-06-0549-04

腰椎椎间孔作为腰神经根的出口通道, 其周围多种组织结构病变可造成椎间孔狭窄, 压迫神经根, 引起下肢放射性疼痛、麻木及功能障碍, 即腰椎椎间孔狭窄症(lumbar foramen stenosis, LFS), 是腰腿痛常见病因之一^[1]。然而, 对该疾病认识不充分造成的误诊或治疗失败并不少见。近年来, 随着影像技术的发展和手术方式的革新, 椎间孔狭窄症的诊断更加准确^[2], 治疗方式也更加微创^[3]。笔者就腰椎椎间孔及神经根的解剖特点、椎间孔狭窄症的诊断及治疗进展简要综述如下。

1 腰椎椎间孔及神经根的解剖特点

腰椎椎间孔由骨性管腔及管腔内外结缔组织构成, 上宽下窄, 呈卵圆形或倒水滴形, 其上壁是上位椎弓根的下缘, 下壁是下位椎弓根的上缘, 前壁上部是上位椎体的后缘, 前壁中部是椎间盘的后缘, 前壁下部是下位椎体的后缘; 后壁是关节突关节和黄韧带。椎间孔上半部分较宽, 是出口神经根的出口, 下半部分由于有下位椎体上关节突占位, 较窄, 无重要神经组织, 是内窥镜手术经椎间孔入路的安全通道。与脊神经伴行的根动脉是腰动脉的脊支, 穿椎间孔进入椎管后分为前根、后根动脉与脊膜支, 前两者与椎间孔内的脊髓前、后动脉相吻合。椎外静脉丛和椎内静脉丛在椎间孔区域形成交通支, 包括根静脉, 椎间静脉。根静脉伴神经根, 而椎间静脉一般穿行于椎间孔下部。硬脊膜连接到椎管内表面的纤维束称为 Hoffman 韧带。椎间孔内韧带始于神经根的外膜鞘, 分别止于小关节囊、纤维环和上下椎弓根, 彼此之间通过模性结构相连, 封闭椎间孔。椎间孔外侧区韧带起自横突的底部, 向上、向下止于同一椎体或下一椎体, 称作体横韧带, 该韧带将椎间孔区域分为多个间隔^[4]。目前普遍认为体横韧带为人的正常生理结构, 但其在创伤、退变情况下是否参与神经根压迫仍需进一步研究。

在与前根汇合之前, 后根的末端膨大部分成为后根神经节(脊髓神经节), 是初级感觉神经元胞体的集合, 在

机械压迫或炎症刺激下, 后根神经节兴奋性增加, 产生异位自发放电, 从而引起感觉过敏和异常痛觉。脊神经出椎间孔后分为前支和后支, 神经分支被上、下体横韧带分隔, 前支经下位横突前方向前下走形, 后支与下位横突根部绕上关节突并分出后内侧支与后外侧支。椎间孔狭窄卡压神经根以下腰段最为常见, 其中 L5、L4、L3 神经根卡压分别占 75%、15% 和 5.3%^[5]。Hasegawa 等^[6]通过尸体解剖发现正常椎间孔高度 20~23mm, 宽度 8~10mm, 截面积 40~160mm²。L4、L5 神经根的后根神经节分布在椎间孔内, 而 S1 后根神经节位置较高, 常在椎管内分布; 下腰段神经根较粗, 走形长且斜行通过侧隐窝; 神经根与椎间孔横截面积比值相对较大, 以上解剖特点可能是神经根卡压多发生在下腰段的解剖学基础。

2 影响腰椎椎间孔大小的因素

静息状态下, 椎间孔的高度取决于椎间盘和椎体的高度, 而宽度与椎管、椎弓根的长度密切相关。椎间盘退变、椎间隙变窄导致椎间孔高度减小(纵向狭窄); 椎间盘突出、小关节增生及黄韧带肥厚等共同作用导致椎间孔宽度变窄(横向狭窄)。Cinotti 等^[7]在尸体标本上比较椎间盘摘除前后椎间孔的大小, 发现椎间盘摘除后, 椎间孔高度减小 6.5mm, 而宽度未见明显变化。Iwata 等^[8]对 12 名年轻健康志愿者行站立位腰椎 CT 扫描, 发现负重后除 L5/S1 外, 其他节段椎间孔大小均明显减小, 且与椎间盘高度呈正相关。随着年龄增长, 椎间盘和小关节发生退变, 椎间孔高度、宽度也随之减小, 由于男性椎间盘退变早于女性且速度较快, 男性椎间孔高度的减小更为明显^[9]。

除静态病理变化外, 腰椎运动也对椎间孔的大小造成一定影响, 主要表现为屈曲位椎间孔面积增大, 伸展位缩小。Inufusa 等^[10]在尸体上证实腰椎屈曲时椎间孔面积增加 12%, 伸展时减小 15%, 在中立位、屈曲位、伸展位时神经根压迫的发生率分别为 21%、15.4%、33.3%。因此, 诊断椎间孔狭窄症时应重视椎间孔区域的动态变化, 但因为其临床症状和体征缺乏特异性, 对该疾病的诊断和鉴别造成困难。腰椎滑脱或不稳定造成神经根卡压及相应症状可认为是动态的椎间孔狭窄症, 当患者 X 线动力位摄片提示腰

椎滑脱或椎间不稳时,应考虑该情况的可能。对于轻度发育不良的腰椎滑脱患者,滑脱逐渐加重时,椎间孔的面积和容积明显减小^[11]。Singh 等^[12]利用动态 MRI 分析了 45 例腰腿痛患者椎间孔随体位变化情况,发现由屈曲变中立时,除 L5/S1 节段外,其他节段椎间孔面积明显减小,而中立变伸展时,所有节段面积均明显减小,并且随着伸展角度逐渐增大,面积变化也更加显著,由于 L5/S1 节段活动度较小,体位对该节段椎间孔大小的影响不大。除此以外,脊柱侧凸和轴向旋转也可影响椎间孔大小,表现为同侧面积变小,对侧面积增大。运动时椎间孔面积的变化可能与椎间盘的膨出和小关节的活动有关,但其具体机制有待进一步阐明。

3 腰椎椎间孔狭窄与神经根性症状

Hasegawa 等^[9]最早通过测量腰椎侧位及动力位 X 线片,提出腰椎椎间孔狭窄的诊断标准为椎间盘的高度 $\leq 4\text{mm}$ 和椎间孔高度 $\leq 15\text{mm}$ 。然而临床上椎间孔狭窄的患者多伴有椎间盘突出、小关节增生和黄韧带肥厚引起的横向狭窄。赵京元等^[13]回顾性分析 21 例腰椎椎间孔狭窄患者的相关资料,患者椎间隙平均 8.0mm ,椎间孔高度平均 27.6mm ,未达到椎间孔狭窄的诊断标准,21 例患者均为横向狭窄,其中 9 例为腰椎间盘突出,12 例为椎间盘弥漫性膨出合并关节突增生,提示横向狭窄更具有临床意义。

腰椎椎间孔狭窄压迫出口神经根,引起下肢放射性疼痛等症状,以 L3/4、L4/5、L5/S1 最为常见。查体时若发现腰部向痛侧伸展时下肢疼痛明显加剧,称 Kemp 氏征阳性。然而,腰椎间盘突出或腰椎管狭窄压迫神经根同样可以引起上述症状,神经根在椎管内的受压部位可能是 2 处或 2 处以上,造成“双挤压征”。Yamada 等^[14]对 38 例术中明确 L5/S1 节段椎间孔狭窄患者和 60 例 L4/5 节段腰椎管狭窄症患者进行比较,发现前者静息下肢痛症状更为剧烈(VAS 评分 6.6 ± 3.1 vs. 1.3 ± 1.9 , $P=0.03$),Kemp 征阳性率无明显差异。单纯的临床检查难以反映神经根出口的病理变化,椎间孔狭窄的诊断仍需通过影像学检查与椎间盘突出、中央型椎管狭窄以及椎间孔外病因加以鉴别。

4 影像学检查

腰椎侧位和动力位 X 线片最早应用于腰椎间孔的测量和疾病诊断,但由于下腰段椎间孔的位置与投照中心线不垂直,在判断大小时可能出现误差,为临床提供诊断存在一定局限性^[6]。

目前,CT 和 MRI 检查是诊断腰椎椎管狭窄和判断狭窄程度最有效的方法。CT 可显示椎间孔内的骨性结构、神经根及有效空间,狭窄时 CT 表现为椎体后外侧和关节突骨赘形成,延伸至孔内。近年来,三维 CT 重建等技术的应用使椎间孔测量更加准确^[9]。在准确显示椎间孔内神经根及周围组织关系时,MRI 检查更具优势。椎间孔狭窄时,MRI 表现为椎间孔变小,T1 加权像上神经根周围脂肪影

减小。Lee 等^[15]总结了 96 例椎间孔狭窄患者的影像学资料,提出了腰椎间椎间孔狭窄的分级方法:0 级无椎间孔狭窄;1 级为轻度椎间孔狭窄,表现为横向或纵向的神经周围脂肪间隙减小;2 级为中度椎间孔狭窄,表现为横向和纵向的脂肪间隙均减小,但无神经形态改变;3 级为重度椎间孔狭窄,表现为神经根形态改变或破坏。

近年来,磁共振神经成像、弥散加权成像等技术为诊断椎间孔狭窄和评估神经根功能提供了更加精确的影像学依据。Guan 等^[16]用磁共振神经成像测量经椎间孔入路“安全三角”的大小,发现各节段尺寸明显小于既往尸体解剖研究结果,其差别可能与福尔马林处理后神经组织萎缩和尸体操作时神经牵拉有关。Eguchi 等^[2]采用 MRI 弥散加权成像对神经根全长进行成像,发现椎间孔狭窄处神经根出现纤维束变窄、凹陷、中断。另外,弥散加权成像还能定量分析神经根结构完整性,表现为受压神经根各向异性分数明显减小^[17]。赵京元等^[13]对 21 例 LFS 患者行神经根冠状位、矢状位、轴位 MRI 检查,手术探查结果与术前 MRI 诊断的椎间孔狭窄部位完全符合。Splendian 等^[18]对 160 例下肢根性疼痛患者行仰卧位和站立位 MRI 检查,发现有 61 个椎间孔在仰卧位时正常,而站立位时提示狭窄。另外,神经根造影、选择性神经根阻滞等有创检查也有助于进一步明确诊断。

5 治疗

5.1 保守治疗

目前的保守治疗方法均是为了缓解疼痛症状,主要包括卧床休息、牵引、理疗、腰背肌肉功能锻炼、药物治疗(神经营养药、非甾体抗炎药、激素、肌松药)等。Park 等^[19]对 35 例不同程度椎间孔狭窄患者行经椎间孔粘连松解治疗,62.8% 的患者在 3 个月内疼痛有所缓解。对于轻度的椎间孔狭窄,症状较轻,对日常生活、工作影响不重者,应首先采取保守治疗。

5.2 手术治疗

手术减压是治疗腰椎椎间孔狭窄的有效方法。腰椎椎间孔狭窄的手术适应证主要包括:主要症状为腰痛伴下肢放射性疼痛,腿痛重于腰痛;下肢出现相应皮节、肌节的功能障碍或腱反射改变;查体直腿抬高实验阳性;影像学提示与症状、体征相符的腰椎间孔狭窄或不稳定的腰椎滑脱;进行合理非手术治疗后症状未能缓解甚至加重,严重影响工作、生活的患者。

传统手术经后路显露椎板,切开部分或全部关节突以扩大椎间孔,虽然减压充分、有效,但手术创伤大、康复时间长,过度融合还可能造成或加速邻椎退变。随着脊柱微创理念的发展及各类微创技术的革新,其手术适应证不断扩大,内窥镜下椎间孔扩大成形术、扩张通道下减压和微创刨削器 iO-Flex 等治疗腰椎椎间孔狭窄也获得良好的效果^[20]。

5.2.1 内窥镜下椎间孔扩大成形术 1992 年, Mayer 等^[21]

首次报道经皮内窥镜椎间盘切除术 (percutaneous endoscopic lumbar discectomy, PELD) 以来, 许多学者报道了 PELD 技术和疗效^[21-23]。目前, 多数经椎间孔内窥镜系统也都可同时进行椎间孔扩大成形术, 但多数内窥镜手术的靶点在突出或游离的椎间盘, 其穿刺点一般定位于突出的椎间盘或椎管内, 放置工作通道时可能加重神经根的挤压, 对椎间孔的扩大效果也有限。Ahn 等^[24]提出, 针对椎间孔狭窄的患者, 穿刺点应定于椎间孔外 (下位椎体关节突), 通过环锯、激光等器械对造成狭窄的骨赘和软组织充分减压后再逐步进入椎间孔, 避免穿刺和放置通道时造成的出口神经根损伤。33 例腰椎椎间孔狭窄患者接受此类手术, 93.9% 的患者术后症状得到改善, 2 例患者术后出现一过性感觉异常, 1 例患者因椎间盘突出复发行融合手术。周跃等^[24]采用骨铰刀行经皮椎间孔成形术, 治疗了 21 例神经根管下狭窄患者, 优良率 85.7%, 手术时间平均 86min, 平均卧床 10.5h。李振宙等^[25]模拟侧后路腰椎间孔成形手术在人腰椎标本上作生物力学实验, 发现采用 7.5mm 环锯对椎间孔进行扩大成形后, 下位腰椎上关节突腹侧及外侧部分骨质被切除, 关节突关节的关节面和关节囊无任何破坏, 对腰椎稳定性没有明显影响; 使用 10mm 环锯扩孔后, 下位椎体上关节突的上半部分被切除, 关节突关节腹侧关节囊被破坏, 上位椎体关节突关节面部分暴露, 引起腰椎侧屈活动时范围增加及零负荷时中性区偏移, 但腰椎旋转稳定性及屈曲稳定性没有影响。

与传统的开放手术相比, 内窥镜下椎间孔扩大成形术治疗椎间孔狭窄具有以下几个特点: 首先, 手术可在局麻下进行, 患者处于完全清醒状态, 患者的实时反馈可帮助医生了解和判断椎间孔病变, 避免神经根和硬膜囊损伤, 提高手术安全性。另外, 随着内窥镜器械的不断完善, 内窥镜下微型磨钻、环锯、激光等器械可有效清除各种病变, 松解神经根。椎间孔扩大时关节突和后侧的椎板得以保留, 不影响节段的稳定性^[26]。但内窥镜手术操作难度大、学习曲线陡峭, 初学者易损伤椎管血管、神经根和硬膜囊; 此外, 由于手术区域局限, 对于椎间孔狭窄伴有中央椎管狭窄的患者, 经椎间孔入路难以处理。经皮内窥镜椎板间入路 (percutaneous endoscopic interlaminar discectomy, PEID) 是 PELD 技术中衍生出来的一种辅助技术, 主要用于高髂嵴和 L5 横突肥大, 穿刺特别困难的 L5/S1 椎间盘突出和脱出患者, 该技术可直接切除椎管内突出或脱出的椎间盘组织, 可直视下对中央型腰椎间盘突出或侧隐窝狭窄进行减压^[23]。但传统的椎板间隙手术一样, PEID 手术需要切开黄韧带, 工作套管牵拉神经根和硬脊膜, 不可避免造成不同程度椎管内粘连、神经根牵拉损伤。

5.2.2 后路椎间孔减压术 显微镜辅助椎间孔切除术通过扩张通道完成椎板开窗、小关节切除和神经根减压, 与直视手术相比, 更加准确保护神经根、硬脊膜, 保留后韧带复合体, 保证腰椎的稳定性。Alimi 等^[27]利用旁中央显微扩张通道下小关节切除术治疗 32 例下肢放射痛患者,

95.2% 的患者功能恢复满意, 1 例患者改行融合手术。微创刨削器 iO-Flex 系统通过后路小切口放入一个可弯曲的条形薄刀片, 经神经根管从神经根背侧穿出, 对椎管和侧隐窝的进行扩大, 实现对 2 个节段双侧神经根减压^[28]。然而, 该系统无法处理椎间孔前壁的病变, 另外, 术中无法直视出行根, 存在损伤风险。周恒星等^[29]采用直视下选择性神经根减压术治疗 178 例腰骶神经根病患者, 对于椎间孔出后去切除上关节突关节外侧面, 如合并关节突关节骨赘时一并去除, 尽可能保留脊柱后方复合体的结构完整, 无需额外的固定融合。

5.2.3 融合及内固定术 多数椎间孔狭窄患者通过上述减压术可松解神经根, 缓解症状, 但少数患者还需要行融合和内固定手术。经椎间孔腰椎融合术 (transforaminal lumbar interbody fusion, TLIF) 通过后路实行彻底的关节突关节切除, 充分扩大椎间孔, 加强节段稳定性, 保持或恢复腰椎生理前凸。椎弓根内固定器械可明显扩大椎间孔, 螺杆撑开 6mm 便可将椎间孔高度达到最高。目前, 融合的指征包括术前已有腰椎不稳或畸形; 严重椎间孔狭窄, 减压广泛、小关节或峡部切除 >50% 等。Kim 等^[30]采用单侧小切口 TLIF 治疗了 66 例双侧椎间孔狭窄患者, 椎间孔平均高度从 11.8mm 扩大到 14.7mm, 平均宽度从 4.9mm 扩大到 6.5mm, 患者术后根性症状明显改善。

6 小结

腰椎椎间孔狭窄是腰骶神经根病的主要原因之一。CT、MRI 等影像学检查手段对腰椎椎间孔狭窄的诊断和病情评估起到重要作用。目前, 椎间孔狭窄的手术方式多样, 对术式的选择尚缺乏一致性认可。然而, 微创化、精准化的手术操作是腰椎椎间孔狭窄症手术治疗的必然趋势, 大量研究报道可以获得满意的短期临床效果, 但其长期疗效仍需高质量临床研究阐明。由于微创手术学习曲线较陡峭, 且国内开展较晚, 规范化的培训有利于该类技术在腰椎椎间孔狭窄的临床治疗中广泛应用。

7 参考文献

1. Jenis LG, An HS. Spine update—lumbar foraminal stenosis[J]. Spine, 2000, 25(3): 389–394.
2. Eguchi Y, Ohtori S, Yamashita M, et al. Clinical applications of diffusion magnetic resonance imaging of the lumbar foraminal nerve root entrapment [J]. Eur Spine J, 2010, 19 (11): 1874–1882.
3. Ahn Y, Oh HK, Kim H, et al. Percutaneous endoscopic lumbar foraminotomy: an advanced surgical technique and clinical outcomes[J]. Neurosurgery, 2014, 75(2): 124–132.
4. Maric DL, Krstonosic B, Eric M, et al. An anatomical study of the lumbar external foraminal ligaments: appearance at MR imaging[J]. Surg Radiol Anat, 2015, 37(1): 87–91.
5. Jenis LG, An HS, Gordin R. Foraminal stenosis of the lumbar spine: a review of 65 surgical cases [J]. Am J Orthop(Belle

- Mead NJ, 2001, 30(3): 205–211.
6. Hasegawa T, An HS, Haughton VM, et al. Lumbar foraminal stenosis: critical heights of the intervertebral discs and foramina. A cryomicrotome study in cadavera[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1995, 77(1): 32–38.
7. Cinotti G, De Santis P, Nofroni I, et al. Stenosis of lumbar intervertebral foramen: anatomic study on predisposing factors [J]. *Spine*, 2002, 27(3): 223–229.
8. Iwata T, Miyamoto K, Hioki A, et al. In vivo measurement of lumbar foramen during axial loading using a compression device and computed tomography [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(5): E177–E182.
9. Senoo I, Orias AAE, An HS, et al. In vivo 3-dimensional morphometric analysis of the lumbar foramen in healthy subjects[J]. *Spine*, 2014, 39(16): E929–E935.
10. Inufusa A, An HS, Lim TH, et al. Anatomic changes of the spinal canal and intervertebral foramen associated with flexion–extension movement[J]. *Spine*, 1996, 21(21): 2412–2420.
11. Spivak JM, Kummer FJ, Chen D, et al. Intervertebral foramen size and volume changes in low grade, low dysplasia isthmia spondylolisthesis[J]. *Spine*, 2010, 35(20): 1829–1835.
12. Singh V, Montgomery SR, Aghdasi B, et al. Factors affecting dynamic foraminal stenosis in the lumbar spine[J]. *Spine J*, 2013, 23(9): 1080–1087.
13. 赵京元, 唐小穗, 孙广才, 等. 腰椎神经根冠状位、矢状位和轴位 MR 扫描定位诊断腰椎椎间孔狭窄症[J]. *中华骨科杂志*, 2014, 34(8): 839–844.
14. Yamada K, Aota Y, Higashi T, et al. Lumbar foraminal stenosis causes leg pain at rest[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(3): 504–507.
15. Lee S, Lee JW, Yeom JS, et al. A practical MRI grading system for lumbar foraminal stenosis [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 194(4): 1095–1098.
16. Guan X, Gu X, Zhang L, et al. Morphometric analysis of the working zone for posterolateral endoscopic lumbar discectomy based on magnetic resonance neurography [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(2): E78–E82.
17. Eguchi Y, Ohtori S, Orita S, et al. Quantitative evaluation and visualization of lumbar foraminal nerve root entrapment by using diffusion tensor imaging: preliminary results[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 197(10): 1824–1829.
18. Splendiani A, Ferrari F, Barile A, et al. Occult neural foraminal stenosis caused by association between disc degeneration and facet joint osteoarthritis: demonstration with dedicated upright MRI system[J]. *Radiol Med*, 2014, 119(2): 164–174.
19. Park CH, Lee SH. Effectiveness of percutaneous transforaminal adhesiolysis in patients with lumbar neuroforaminal spinal stenosis[J]. *Pain Physician*, 2013, 16(1): E37–E43.
20. Mayer HM, Brock M, Berlien HP, et al. Percutaneous endoscopic laser discectomy(PELD): a new surgical technique for non-sequestered lumbar discs [J]. *Acta Neurochir Suppl (Wien)*, 1992, 54(1): 53–85.
21. Yeung AT, Tsou PM. Posterolateral endoscopic excision for lumbar disc herniation: surgical technique, outcome, and complications in 307 consecutive cases[J]. *Spine*, 2002, 27(7): 722–731.
22. 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*, 2006, 31(24): E890–E897.
23. Ruetten S, Komp M, Merk H, et al. Full-endoscopic interlaminar and transforaminal lumbar discectomy versus conventional microsurgical technique: a prospective, randomized, controlled study[J]. *Spine*, 2008, 33(9): 931–939.
24. 周跃, 李长青, 王建, 等. 经皮椎间孔成形术治疗 L5/S1 神经根狭窄症[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2009, 19(5): 345–349.
25. 李振宙, 侯树勋, 吴闻文, 等. 经皮侧后路腰椎间孔成形术对腰椎解剖及生物力学影响的实验研究 [J]. *中国骨肿瘤骨病*, 2010, 9(6): 503–508.
26. Ahn Y. Percutaneous endoscopic decompression for lumbar spinal stenosis[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2014, 11(6): 605–616.
27. Alimi M, Njoku I, Cong GT, et al. Minimally invasive foraminotomy through tubular retractors via a contralateral approach in patients with unilateral radiculopathy[J]. *Neurosurgery*, 2014, 10(Suppl 3): 436–447.
28. Dickinson LD, Phelps J, Summa CD, et al. Facet-sparing decompression with a minimally invasive flexible microblade shaver: a prospective operative analysis[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2013, 26(8): 427–436.
29. 周恒星, 冯世庆, 宁广智, 等. 直视下选择性神经根管减压术治疗腰骶神经根病的疗效评价[J]. *中华骨科杂志*, 2013, 33(7): 689–694.
30. Kim MC, Park JU, Kim WC, et al. Can unilateral approach minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion attain indirect contralateral decompression? a preliminary report of 66 MRI analysis[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(5): 1144–1149.

(收稿日期: 2014-12-02 修回日期: 2015-04-11)

(本文编辑 彭向峰)