

临床论著

步行负荷试验对腰椎管狭窄症的诊断价值

刁振斌, 史峰军, 王冬, 初海坤

(大庆油田总医院骨科 163311 大庆市)

【摘要】目的:研究步行负荷试验在诊断腰椎管狭窄症中与腰椎 MRI 检查及下肢肌电图检查的相符情况, 评估其诊断价值。**方法:**选取 2009 年 10 月~2010 年 10 月我院收治的腰椎管狭窄症住院患者 35 例, 临床表现均为症状重但查体定位体征不明显。所有入选病例均对其影像学(腰椎正侧位、腰椎动力位、腰椎 MRI、下肢血管多普勒)检查、下肢肌电图及步行负荷试验结果进行双盲检测及评估。观察比较步行负荷试验后出现特定阳性体征(感觉、肌力、反射等变化)所对应的神经受累节段, 与腰椎 MRI 及肌电图检查所反应的腰椎管狭窄部位的相符情况。**结果:**步行负荷试验后有 29 例患者主诉出现下肢麻木、酸痛, 其中体格检查显示 L1/2、L2/3、L3/4、L4/5、L5/S1 节段神经根受累节段数分别为 1 个、1 个、12 个、23 个、16 个, 其中单节段神经根受累 10 例(34.5%), 双节段神经根受累 14 例(48.3%), 三节段神经根受累 5 例(17.2%); 影像学检查显示的 L1/2、L2/3、L3/4、L4/5、L5/S1 节段神经受累节段数分别为 2 个、2 个、15 个、25 个、18 个, 其中单节段神经根受累 14 例(40%), 双节段神经根受累 15 例(42.9%), 三节段神经根受累 6 例(17.1%)。31 例(88.6%)患者肌电图检查有阳性发现, 4 例(11.4%)无异常发现, 步行负荷试验阳性发现的患者肌电图均有不同程度的异常(100%)。步行负荷试验在 L3/4、L4/5、L5/S1 节段诊断椎管狭窄与腰椎 MRI 检查相比无统计学差异($P>0.05$)。**结论:**步行负荷试验诊断低位节段(L3~S1)的腰椎管狭窄症与腰椎 MRI 检查及肌电图检查结果具有较好的一致性, 临床上对腰椎管狭窄症有重要的诊断价值。

【关键词】 腰椎管狭窄; 间歇性跛行; 步行负荷试验; 肌电图

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2011.10.12

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2011)-10-0843-05

The diagnostic value of gait load test for lumbar spinal stenosis/DIAO Zhenbin, SHI Fengjun, WANG Dong, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2011, 21(10): 843-847

【Abstract】 Objective: To assess the clinical efficacy of gait load test in the diagnosis of lumbar spinal stenosis by evaluating its coincidence with the lumbar MRI scan and EMG examination. **Method:** 35 patients with lumbar spinal stenosis between October 2009 and October 2010 in our hospital, had severe symptoms but no obvious signs. All the cases were on the radiological examination (including lumbar X-ray of AP view, lateral view, lateral view of flexion and extension, lumbar MRI and color Doppler of lower limb vessels). Double blind detection and assessment were performed for lower limb electromyography and gait load test results. The segments of the impaired nerve roots corresponding to specific positive symptoms (sensation, strength, reflexes and other changes) were noted after the gait load test and compared with the sites of lumbar spinal stenosis from lumbar MRI and EMG. **Results:** 29 patients had symptoms after the gait load test. Physical examination demonstrated the number of the impaired segmental nerve roots of L1-2, L2-3, L3-4, L4-5, L5-S1. The number of segments was 1, 1, 12, 23, 16 respectively, in which the single level was 10 (34.5%), while two-level amounted 14 (48.3%) and three-level 5 (17.2%). Radiological examination showed the number of the stenotic spinal segments of L1/2, L2/3, L3/4, L4/5, L5/S1. The number of segments was 2, 2, 15, 25, 18 respectively, in which the single level was 14 (40%), while two-level amounted 15 (42.9%) and three-level 6 (17.1%). EMG examination showed that 31 patients (88.6%) were positive, while 4 patients (11.4%) were negative. All the patients positive for gait load tests had abnormal findings under EMG (100%). There was no significant difference in diagnosis of the lower lumbar spinal stenosis (L3/4, L4/5, L5/S1) between gait load test and lumbar MRI ($P>0.05$). **Conclusions:** The gait load test had good coincidence with the lumbar MRI scan and EMG examination in diagnosis of the lower lumbar spinal stenosis. There was an important diagnostic value for lumbar spinal

第一作者简介: 男(1978-), 主治医师, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (0459) 5805822 E-mail: diaozhenbin1978@163.com

stenosis patients.

【Key words】 Lumbar spinal stenosis; Intermittent claudication; Gait load test; EMG

【Author's address】 Department of Orthopaedics, the Da-qing Oil Field General Hospital 163311, Heilongjiang, China

临床工作中腰椎管狭窄症的诊断及责任节段的确定较为重要,多需将影像学检查与临床症状及体格检查相结合,其中功能检查法在责任节段的确定中具有重要作用^[1]。步行负荷试验能将本不明显的体征诱发出来,从而使腰椎管狭窄症的诊断变得容易,但步行负荷试验的阳性指标为患者的主诉,具有一定的主观性,其诊断功能与影像学检查结果的比较报道较少,因此,作者对步行负荷试验的诊断意义及可行性进行研究,报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2009 年 10 月~2010 年 10 月期间我院收治的腰椎管狭窄症患者,临床主要表现为间歇性跛行,且主诉长期反复腰腿痛症状,但查体阳性体征不明显者 41 例。排除合并有侧隐窝狭窄、椎间盘突出等坐骨神经痛及入院前曾诊断为肿瘤、炎症等导致腰椎管狭窄患者 6 例。最终纳入研究 35 例,其中男 21 例,女 14 例,年龄 43~74 岁,平均 53 岁;病程 7 个月~15 年,平均 3 年 4 个月;主诉自行行走至出现跛行的距离 50~1000m 不等。35 例患者均以间歇性跛行为主诉,即行走后均出现不同程度腰部和(或)单侧或双侧下肢麻木、酸痛、无力。静息时查体:无任何阳性体征者 14 例,轻微阳性体征者 21 例,其中股四头肌萎缩 14 例,小腿后群肌张力减低 15 例,轻微感觉障碍 21 例,膝反射轻度减弱 13 例,跟腱反射轻度减弱 14 例。

1.2 辅助检查

所有病例均常规行腰椎正侧位、腰椎过伸过屈位 X 线、腰椎 MRI 平扫及下肢肌电图检查,并行双下肢血管彩色多普勒超声检查以排除血管病变导致的间歇性跛行。

1.2.1 MRI 检查 应用 GE Signa CV/I 型磁共振扫描仪,行腰椎矢状面 T1WI、T2WI 扫描以及横断面 T2WI 扫描。相应扫描参数如下:(1)腰椎矢状面和横断面 T2WI 扫描,TR/TE 为 3000ms/100ms,层厚/层间隔 4mm/1mm。矩阵 480/256, NEX 3, 可变带宽 31.2kHz, 矢状面视野 28×28, 横断面视野 20×20;(2)腰椎矢状面 T1WI、

T2WI 扫描,TR/TE 560ms/12ms,层厚/层间隔 4mm/1mm,矩阵 320/256, NEX; (3) 可变带宽 15.6kHz, 矢状面视野 28×28。扫描软件 No Phase Wrap(去相位包裹), Variable Bandwidth(可变带宽), Tailored RF(裁剪射频)等。

1.2.2 X 线检查 应用 GE Advantx RFX90 型 X 线机,相应参数:正位电压 75kV,侧位电压 85kV,电流 500mA,曝光方式为自动曝光控制系统。

1.2.3 彩色多普勒检查 采用 TH-5500 型天惠华全数字彩色多普勒超声诊断仪。

1.2.4 双下肢肌电图检查 所有患者入院后常规行双下肢肌电图检查,采用丹麦生产的 Keypoint 四通道肌电诊断仪。检查方法:患者取仰卧位,常规检查股二头肌、股直肌、胫前肌、腓肠肌和趾短伸肌。所检查肌肉对应的腰椎节段依次为:股二头肌及股直肌-L3/4;胫前肌-L4/5;腓肠肌和趾短伸肌-L5/S1。神经损害评估的指标为:(1)自发电位出现两处以上纤颤电位及正锐波;或(2)肌肉轻力收缩时出现多相波。

1.3 步行负荷试验

由一组医师进行双盲评估,让患者行走一段距离(50~1000m),直至出现腰腿部麻木、疼痛、无力至无法行走,即刻进行下肢感觉、运动、肌力、反射等神经体征检查,记录每个患者的行走距离及步行负荷试验前后体征的变化。

1.4 统计学方法

采用 SPSS 13.0 统计分析软件对所得数据进行统计学分析。对各个腰椎节段的步行负荷试验及腰椎 MRI 诊断腰椎管狭窄症的阳性率、步行负荷试验及肌电图定位的腰骶神经根损伤节段的阳性率均行 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 步行负荷试验

步行负荷试验后共有 29 例患者出现症状,其中 16 例患者原有症状加重,步行负荷试验阳性率 82.9%,从开始步行至出现严重症状无法行走的距离 <100m 3 例,100~200m 2 例,200~400m 4 例,400~800m 7 例,>800m 13 例。出现单侧肢体

麻木、疼痛者 26 例,双侧麻木、疼痛者 3 例,同时伴有鞍区麻木者 2 例。

步行负荷试验后给予专科查体,检查感觉、运动、肌力、腱反射变化情况见表 1。感觉功能障碍的评定以腰神经所支配皮区的关键点为准。运动功能着重检查腰神经支配的关键肌。反射功能检查示膝腱反射(L4)减弱 8 例,跟腱反射(S1)减弱 14 例。其他检查:直腿抬高试验阳性 2 例,腰背伸试验阳性 19 例,无病理反射阳性患者。以上可为单侧或双侧,同一病例各体征可有不同组合。

2.2 影像学检查

腰椎 X 线检查显示所有病例均存在不同程度的腰椎退行性变,其中腰椎失稳 17 例(48.6%);腰椎滑脱 4 例(11.4%),I 度、II 度滑脱各 2 例。腰椎 MRI 检查显示所有病例均存在不同程度的黄韧带肥厚及中央椎管狭窄,28 例伴侧隐窝狭窄。单节段狭窄者 14 例(40%)、双节段狭窄者 15 例(42.9%)、三节段狭窄者 6 例(17.1%)。腰椎 MRI 所示狭窄节段与步行负荷试验后专科查体所示狭窄节段比较情况见表 2,两者检查结果相符者 26 例(74.2%),不相符者 9 例(25.8%)。其中 L1/2、L2/3 节段腰椎 MRI 检查阳性率高于步行负荷试验,两者具有显著性差异($P<0.05$),而 L3/4、L4/5、L5/S1 节段两者检查结果具有很好的相关性($P>0.05$,典型病例见图 1)。

2.3 彩色多普勒超声检查

所有病例双下肢血管彩色多普勒超声检查均未发现血管狭窄或血栓形成。

2.4 肌电图检查

本组 35 例共检查肌肉 350 块,35 例中 31 例(88.6%)患者肌电图检查有阳性发现,其中自发电位出现两处以上纤颤电位及正锐波者 16 例(51.6%),肌肉轻力收缩时出现多相波者 18 例(58.1%),同一患者两者有组合者 10 例。肌电图

无异常发现者 4 例(11.4%)。29 例步行负荷试验阳性发现的患者肌电图均有上述不同程度的异常(100%),两者具有很好的相关性(表 3)。

3 讨论

腰椎管狭窄症所致的间歇性跛行称为神经源性间歇性跛行,也称马尾源性间歇性跛行,应与脊髓源性间歇性跛行及血管源性间歇性跛行鉴别。神经源性间歇性跛行常伴有特定腰神经支配区功能障碍如特定神经支配区感觉减退、肌力减弱^[2]、

表 1 29 例步行负荷试验阳性患者体征及节段分布

累及节段	n	步行负荷试验阳性体征		
		感觉减退	肌力减弱	腱反射减弱
L2	1	1	1	—
L3	1	1	1	—
L4	12	9	8	8
L5	23	20	14	—
S1	16	14	9	14

表 2 步行负荷试验阳性节段与影像学检查狭窄节段的分布

累及节段	步行负荷试验阳性节段数	影像学检查狭窄节段数
L2	1(2.9%) ^①	2(5.7%)
L3	1(2.9%) ^①	2(5.7%)
L4	12(34.3%) ^②	15(42.9%)
L5	23(65.8%) ^②	25(71.4%)
S1	16(45.7%) ^②	18(51.4%)

注:①与影像学检查组比较 $P<0.05$;②与影像学检查组比较 $P>0.05$

表 3 步行负荷试验阳性节段与肌电图检查阳性节段的分布累及节段

累及节段	步行负荷试验阳性节段数	肌电图检查阳性节段数
L4	12(34.3%) ^①	11(31.4%)
L5	23(65.8%) ^①	22(62.9%)
S1	16(45.7%) ^①	16(45.7%)

注:①与肌电图检查组比较 $P>0.05$



图 1 患者 62 岁,男性,主诉腰痛伴双下肢麻木、疼痛一年余,加重 20 余天。步行负荷试验后查体:小腿外侧及足背感觉减退,趾背伸肌肌力减弱为 III 级,而膝腱反射正常,小腿内侧及内踝感觉正常 a 腰椎 MRI 检查显示多节段腰椎管狭窄(L3/L4、L4/L5) b 肌电图:趾伸肌支配神经(L5)受累,胫前肌支配神经(L4)正常

反射减弱等,以所累及的神经分布区域为主,腰背伸试验多为阳性^[3];脊髓源性间歇性跛行为脊髓本身病变所致,骨科较为少见,主要表现为双下肢无力、发紧、沉重感,常为双侧,无神经节段分布的特点,可有脊髓压迫所致的一系列症状如浅反射消失,感觉平面出现,肌张力增高,病理反射阳性等^[4];血管源性间歇性跛行为下肢血管病变导致肢体供血不足,常为单侧肢体受累,主要表现为患肢发凉、麻木,可伴有患肢皮温降低、皮肤粗糙、毛发稀疏,查体足背动脉搏动减弱或消失,血管彩色多普勒超声检查可发现相应血管狭窄。有报道在部分老年患者血管源性间歇性跛行的症状可与神经源性间歇性跛行并存,给临床诊治带来困难^[5]。本组 35 例患者中,6 例主诉有下肢“发凉感”,4 例查体发现一侧肢体皮温降低,行双下肢血管彩色多普勒超声检查均无明显异常。对上述 6 例患者行腰椎后路椎管减压椎板扩大成形术,术后 2 周下肢“发凉”及皮温低的症状均得到较好的改善。

早在 20 世纪 50 年代,有学者对神经源性间歇性跛行进行了大量临床观察和实验研究,证明椎管狭窄造成对神经根的机械性压迫,导致神经组织缺血、水肿、血管通透性增加,炎症介质渗出,从而导致疼痛发生^[6,7]。静息时,神经根与椎管骨性结构处于相对静止位置,患者总是倾向于调整姿势使神经根处于受最小压迫的位置^[8]。当行走时,一方面由于姿势的改变及肌肉的收缩、椎管容积及形态的改变导致神经组织受压程度加重;另一方面由于神经电生理活动增加,神经组织功能上承受的负荷增加,神经组织缺血水肿加重,从而症状加重,此即神经源性间歇性跛行的可能机制。

腰椎管狭窄症是进行脊柱手术治疗的最常见疾病之一^[9,10]。腰椎管狭窄症尤其退变性腰椎管狭窄症常为多节段狭窄,且常并存椎间盘突出及神经根逃逸现象^[11],临床表现复杂多样,不典型^[12]。所谓神经根逃逸现象是指影像学虽有腰椎管狭窄征象但患者无相应节段的神经根受压症状^[11]。因此对于此类患者尤其是临床表现与影像学不相符的患者,明确导致狭窄症状的责任节段显得至关重要,因为手术指征主要依靠患者临床症状的严重程度判断,对于影像学虽有狭窄征象但无相应神经受压症状的节段则无需行“预防性手术”^[13]。尤其随着微创治疗理念的深入,近年来腰椎管狭窄症的治疗原则提倡避免单一大范围减压,主张

术前精确定位,明确“责任节段”,以较小的创伤达到精确而彻底减压的治疗目的,尽可能保留脊柱后柱结构的完整性,这就需要术前将影像学检查与临床表现相结合,明确责任节段,避免对无症状的节段进行手术,尤其是对于老年患者,减压范围应尽量控制在单节段^[14],因此在诊断方面,对影像学的过度依赖已引起学者们的警惕,并探寻综合评价的方法。国内外已有报道,通过步行负荷试验结合影像学检查于术前明确“责任节段”后,行选择性减压治疗腰椎管狭窄症,近期疗效满意^[13,15]。作为功能检查法的一种,步行负荷试验具有安全、简单、有效、快捷、易于接受等优点。

电生理检查可以证实诊断,但未被常规应用于临床^[16]。肌电图检查作为一种辅助检查方法,可以反应腰神经根受损部位。目前国内报道的肌电图检查阳性率 70%~90%不等。张淑玲等^[17]对 99 例腰椎间盘突出患者进行肌电图检查,并与 CT 等常规影像学检查作比较,认为肌电图定位准确率稍逊于其他方法,但是能补正其他检查的不足,对定位诊断和术式选择有重要意义。但本组病例步行负荷试验阳性的患者都有肌电图检查的异常,说明二者具有较好的相关性,但还有待进行更大样本量的研究来证实。

本研究结果显示,对于低位节段(L3/4、L4/5、L5/S1)的腰椎管狭窄症的诊断率,步行负荷试验与腰椎 MRI 及肌电图检查有较好的一致性,表明步行负荷试验是一种无创的、有效的低位腰椎管狭窄症的诊断及检查定位手段;但较高位节段(L1/2、L2/3)的腰椎管狭窄症,腰椎 MRI 检查诊断率高于步行负荷试验,其统计学具有显著差异($P<0.05$)。可能因为高位节段的腰椎管狭窄症发生率低,也可能样本量少所致。本研究仅针对步行负荷试验这种检查方法与腰椎 MRI 检查及肌电图检查进行比较来评估其诊断价值,病例数仅局限于一个科室不到 1 年的病例,故结果有较大的局限性。尚需进行大样本、多中心研究,并在应用步行负荷试验对患者进行临床干预后进行长时间随访,进一步评估其临床应用价值。

4 参考文献

1. Fritz JM, Erhard RE, Delitto A, et al. Preliminary results of the use of a two-stage treadmill test as a clinical diagnostic tool in the differential of lumbar spinal stenosis [J]. J Spinal Disord, 1997, 10(5): 410-416.

2. Amundsen T, Weber H, Lilles F, et al. Lumbar spinal stenosis. clinical and radiologic features [J]. *Spine*, 1995, 20 (10): 1178-1186.
3. Spengler DM. Degenerative stenosis of the lumbar spine[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1987, 69(2): 305-308.
4. Manohar P, Kuniyoshi A, Joanne D, et al. Spinal stability and intersegmental muscle forces: a biomechanical model[J]. *Spine*, 1989, 14(2): 194-200.
5. Thomas B, Markus M, Lukas P, et al. Nerve root sedimentation sign: evaluation of a new radiological sign in lumbar spinal stenosis[J]. *Spine*, 2010, 35(8): 892-897.
6. Smyth MJ, Wright V. Sciatica and the intervertebral disc: an experimental study [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1958, 40(6): 1401-1418.
7. Hoyland JA, Freemont AJ, Jayson MIV. Intervertebral foramen venous obstruction: a cause of periradicular fibrosis[J]. *Spine*, 1989, 14(6): 558-568.
8. Hida S, Naito M, Kubo M. Intraoperative measurements of nerve root blood flow during discectomy for lumbar disc herniation [J]. *Spine*, 2003, 28(1): 85-90.
9. Boswell MV, Trescot AM, Datta S, et al. Interventional techniques: evidence-based practice guidelines in the management of chronic spinal pain[J]. *Pain Physician*, 2007, 10(1): 7-111.
10. Mulholland RC. The Michel Benoist and Robert Mulholland yearly European Spine Journal Review: a survey of the "surgical and research" articles in the European Spine Journal, 2008[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(1): 13-22.
11. 侯树勋, 吴闻文, 商卫林, 等. 腰椎管侧隐窝狭窄症的再认识[J]. *中华骨科杂志*, 1997, 17(12): 734-736.
12. 贾连顺, 杨立利. 退变性腰椎管狭窄症的现代外科学概念[J]. *中华骨科杂志*, 2002, 22(8): 509-512.
13. 钟远鸣, 韦明, 许建文, 等. 多节段腰椎管狭窄症选择性椎板减压治疗近期疗效观察 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2008, 16(21): 1670-1672.
14. Papavero L, Thiel M, Fritzsche E, et al. Lumbar spinal stenosis: prognostic factors for bilateral microsurgical decompression using a unilateral approach [J]. *Neurosurgery*, 2009, 65(6): 182-187.
15. Kim YS, Park SJ, Oh IS, et al. The clinical effect of gait load test in two level lumbar spinal stenosis [J]. *Asian Spine J*, 2009, 3(2): 96-100.
16. Egli D, Hausmann O, Schmid M, et al. Lumbar spinal stenosis: assessment of cauda equina involvement by electrophysiological recordings[J]. *J Neurol*, 2007, 254(6): 741-750.
17. 张淑玲, 刘志成, 张斌, 等. 腰椎间盘突出症肌电图检查的独特价值[J]. *中国实用神经疾病杂志*, 2007, 10(2): 25-26.

(收稿日期: 2011-05-09 修回日期: 2011-07-25)

(英文编审 邹海波/贾丹彤)

(本文编辑 刘彦)

(上接第 842 页)

4. Baron EM, Young WF. Cervical spondylotic myelopathy: a brief review of its pathophysiology, clinical course, and diagnosis[J]. *Neurosurgery*, 2007, 60(11): 35-41.
5. 曹新山, 姜兴岳, 张林, 等. 磁共振扩散张量成像在正常颈髓中的应用研究[J]. *放射学实践*, 2010, 25(9): 1049-1052.
6. 孟祥水, 侯金文, 屈传强, 等. 探讨 3T 磁共振 DTI 成像技术及其参数在颈髓中的特点[J]. *山东大学学报*, 2007, 08: 830-834.
7. 李凤宁, 陈智, 张帆, 等. 脊髓型颈椎病 MRI T2WI 高信号与患者手术预后关系的 Meta 分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(1): 83-84.
8. Kerkovsky M, Bednarik JA, Dusek L, et al. Magnetic resonance diffusion tensor imaging in patients with cervical spondylotic spinal cord compression: correlations between clinical and electrophysiological findings[J]. *Spine*, 2011, Jan 11, [Epub ahead of print].
9. Santarelli X, Garbin G, Ukmar M, et al. Dependence of the fractional anisotropy in cervical spine from the number of diffusion gradients, repeated acquisition and voxel size [J]. *Magn Reson Imaging*, 2010, 28(5): 70-76.
10. Yukawa Y, Kato F, Yoshihara H, et al. MR T2 image classification in cervical compression myelopathy: predictor of surgical outcomes[J]. *Spine*, 2007, 32(15): 1675-1678.
11. Song T, Chen WJ, Yang B, et al. Diffusion tensor imaging in the cervical spinal cord[J]. *Eur Spine*, 2010, 15: 1587-1593.
12. Qian W, Chan Q, Mark H, et al. Quantitative assessment of the cervical spinal cord damage in neuromyelitis optica using diffusion tensor imaging at 3 Tesla [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2011, 33(6): 1312-1320.
13. Tu TW, Kim JH, Wang J, et al. Full tensor diffusion imaging is not required to assess the white-matter integrity in mouse contusion spinal cord injury [J]. *Neurotrauma*, 2010, 27(1): 253-262.
14. Inglis BA, Neubauer D, Yang L, et al. Diffusion tensor MR imaging and comparative histology of glioma engrafted in the rat spinal cord[J]. *Am J Neuroradiol*, 1999, 20(4): 713-716.
15. Kara B, Celik A, Karadereler S, et al. The role of DTI in early detection of cervical spondylotic myelopathy: a preliminary study with 3-T MRI [J]. *Neuroradiology*, 2011, 53(8): 609-616.
16. Deo AA, Crill RJ, Hasan KM, et al. In vivo serial diffusion tensor imaging of experimental spinal cord injury [J]. *J Neurosci Res*, 2006, 83(5): 801-810.

(收稿日期: 2011-04-07 修回日期: 2011-07-15)

(英文编审 邹海波/贾丹彤)

(本文编辑 刘彦)