

腰椎间盘突出症影像学评价的临床进展

吴哲, 单中书

青海大学附属人民医院, 青海 西宁

收稿日期: 2023年11月8日; 录用日期: 2023年12月18日; 发布日期: 2023年12月25日

摘要

腰椎间盘突出症在临床诊断与治疗中常需要影像学辅助, 一般采用X-ray、CT及MRI来评估腰椎间盘突出症患者的病情, 从而制定对于患者的诊疗计划。本文将从3种影像学对于腰椎间盘突出症的诊断意义与价值进行综述。

关键词

腰椎间盘突出症, 影像学

Clinical Progress in Imaging Evaluation of Lumbar Disc Herniation

Zhe Wu, Zhongshu Shan

Affiliated People's Hospital of Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Nov. 8th, 2023; accepted: Dec. 18th, 2023; published: Dec. 25th, 2023

Abstract

Lumbar disc herniation often requires imaging assistance in clinical diagnosis and treatment. Generally, X-ray, CT and MRI are used to evaluate the condition of patients with lumbar disc herniation, so as to formulate diagnosis and treatment plans for patients. This article reviews the diagnostic significance and value of three kinds of imaging for lumbar disc herniation.

Keywords

Lumbar Disc Herniation, Imaging

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

腰椎间盘突出症又称为腰椎纤维环破裂症或腰椎髓核脱出症。主要是因为腰椎间盘各部分(髓核、纤维环及软骨板),尤其是髓核,有不同程度的退行性改变后,在外力作用下引起腰椎骨关节旋转、倾斜、错位,引起椎间盘突出椎间孔或椎管,刺激神经或脊髓;或因骨关节错位、椎间孔移位,导致神经根移位与椎间盘产生卡压,引起腰椎活动障碍、腰痛、下肢放射痛,称为“腰椎间盘突出症”。据临床统计,目前 80~90%的腰椎间盘突出症患者经系统的保守治疗可获得缓解,仅有 10~20%的患者经保守治疗无效需行手术治疗[1]。目前治疗腰椎间盘突出症的手术方式有:开放性手术(后路腰椎突出椎间盘组织摘除术、腹膜后入路椎间盘切除术)、微创手术(经皮穿刺介入手术、显微腰椎间盘切除术、显微内窥镜腰椎间盘切除术、经皮内镜腰椎间盘切除术)、腰椎融合术、腰椎人工椎间盘置换术四类。目前腰椎融合术主要适用于:腰椎间盘突出症伴明显的慢性轴性腰背痛;巨大椎间盘突出、腰椎不稳;复发性腰椎间盘突出,尤其是合并畸形、腰椎不稳或慢性腰背痛的情况[2]。腰椎人工椎间盘置换术主要用于腰椎间盘源性腰痛,包括包容型腰椎间盘突出患者。是否适用于非包容型椎间盘突出和有严重神经压迫症状的腰椎间盘突出患者仍无定论[2][3]。腰椎融合术及腰椎人工椎间盘置换术这两种术式适应症较窄,目前绝大多数腰椎间盘突出症患者无需融合与椎间盘置换。

在临床工作中对于腰突症患者病情严重程度,尤其是术后的恢复状况,其疼痛、残疾评分及工作能力是一方面的评价,另一方面我们则需从影像学角度评价患者腰椎间盘突出症的严重程度及术后的恢复程度。然而,目前临床对腰突症的影像学评价方法、评价标准、测量方法众多,尚无公认最佳的影像评价方法[4];故本文从临床常用影像学检查评价方法包括 X-ray、CT、MRI 等进行综述。

2. X-Ray 检查

X-ray 由于经济实惠、辐射剂量小、简便快捷等优点,常作为临床腰椎间盘突出症检查的首选。一般拍摄腰椎正侧位,及屈伸动力位片。腰椎正侧位拍摄时,患者取左侧卧位,膝关节与髋关节屈曲约 90°。屈伸动力位片拍摄时,让患者在屈曲位状态下及过伸位下进行拍摄[5]。由于骨组织是体内 X 线衰减系数最大、密度最高的组织,与其他组织之间存在着良好的对比。在 X 片上可以清楚地显示相邻椎体间的关系。在 X 线上常用的几个评价参数:1) 椎间高度指数:其是在腰椎侧位上测得的,椎间高度指数(DHI) = 椎间隙前缘高度与后缘高度之和/相邻椎体高度之和。2) 矢状面运动范围(sROM):其是指椎体矢状面运动的程度,以相应椎体的上终板和下终板之间、伸展位置和弯曲位置之间的矢状面角度差异进行测量[6]。3) 也有学者[7]使用椎间角度(IVA)及动态 IVA 来评价,IVA 即上椎体的下终板与下椎体的上终板间的夹角。动态 IVA 即在动力位时测得的椎间角度。4) 腰椎前凸角:成角角度测量方法有 Cobb 法、Hutter 法和 Simmon 法,临床常采用 Cobb 法[5][8]。Cobb 法则需要经融合椎间隙上下终板分别作垂线,根据两垂线成角变化来判断。Simmon 法需要测量上下椎体前缘的两条直线的成角,根据成角变化来判断。Hutter 法则是将动力位的腰椎 X 线片重叠,根据成角变化来判断。更有学者研究指出,椎间高度指数越低、腰椎前凸角越小,腰椎间盘突出恢复程度越差[9][10]。但由于 X 线上不能看出椎间盘,对于腰椎间盘突出症的评价多为主观判断,其准确性需要依靠阅片者的经验,单纯依靠 X 片并不能准确判断腰椎间盘突出症的严重程度及术后恢复状况,因此需要结合 CT 或者 MRI 来综合评判。

3. CT 检查

CT 技术用于评价腰椎间盘突出症较 X 线有明显的优势。CT 检查可以完善腰椎间盘突出 CT 平扫各个断面, 清楚地显示椎间盘的突出部位、大小、形态和神经根以及硬脊膜的受压情况。同时, 还可以显示黄韧带肥厚、小关节增生、椎管和侧隐窝狭窄。CT 具有很高的密度分辨率, 其横断面对椎间盘形态改变较为直观, 能直接显示椎间盘本身, 这是 X 线上不能体现的。在 CT 上可以通过一些数据测量来清楚地评价腰椎间盘突出症的病情程度及恢复状况, 如髓核突出率、突出层距及椎间盘突出角这几个参数, 便能很好地反映腰椎间盘突出症的病情。1) 髓核突出率: 突出椎间盘最大矢状径与同一层面椎管最大矢状径的比值 $\times 100\%$; 2) 突出层距: 检查平面最上突出层至最下突出层之间的距离, 提示的是髓核移位的情况; 3) 椎间盘突出角: 将突出间盘的顶点作为基点, 突出两边的夹角[11] [12]。有学者[13] [14]还在 CT 图像上测量患者椎管面积、实际椎管面积、神经根管面积、神经根管实际面积来评价患者腰椎间盘突出症的病情程度及术后的恢复状况。并用上述参数计算椎管软组织浸润率、神经根管浸润比, 椎管软组织浸润率、神经根管浸润比能很好地反映椎管及神经根受压情况。

椎管软组织浸润率 = (椎管面积 - 实际椎管面积)/椎管面积

神经根管浸润比 = (神经根管面积 - 神经根管实际面积)/椎管面积

此外, 还可以使用腰椎 CT 矢状面屈曲角、终板屈曲深度、双侧腰大肌横断面积来评价。在 CT 正中矢状面重建图像上定义终板后缘为 B、前缘为 A, 以 1 mm 间距作 AB 连线垂线, 与终板间最长线段记为 CD, 定义 CD 长度为终板屈曲深度。定义 AC 和 CB 组成的夹角为矢状面屈曲角; 利用鼠标画出双侧腰大肌兴趣区, 测量腰大肌横断面积[15] [16]。有文献研究指出, 矢状面屈曲角、终板屈曲深度、双侧腰大肌横断面积等参数均大于对照组。尽管在 CT 上可测量及计算的腰椎参数很多, 但国内外多数学者认为在诊断腰椎间盘突出症上 MRI 相比较 CT 更具优势[17] [18] [19] [20] [21], 在椎间盘膨出例、椎间盘脱出例、椎间盘积气例、椎间盘游离例等等进行对比分析, 发现 MRI 在疾病检出率方面明显高于 CT。且 CT 上所能够测量及计算的参数在核磁图像上同样能够进行操作, 所以临床选择检查手段还需依靠实际情况判断。

4. MRI 检查

磁共振(Magnetic Resonance Imaging, MRI)评估腰椎间盘突出症的病情程度及术后恢复状况, 是临床最常用、可靠的检查方法。并且由于 MRI 采用的是射频波, 相较于 CT 的电磁波其波长较长, 能量最高可达到 10^{-7} eV。相比之下, 超声波的波长较短, 能量可达 3×10^3 eV。考虑到人体内存在多种 C-H 结合有机物, 结合能力为 1 eV, 所以其射频能量无法切断 C-H 结合, 所以说 MRI 不会对生物产生任何损害[20]。而腰椎 CT 均放射量(6 mSv)相当于约 300 次胸部 X 线检查的放射量(0.02 mSv) [22]。就这一点来讲, MRI 相较于 CT 也更安全无害。但 MRI 技术也存在一定的局限性, 其成像时间普遍较长。针对患者腰椎关节的空间分辨率尚不够高, 在发现钙化灶方面不够敏感, 所以在定性诊断方面存在一定困难。但目前 MRI 已成为腰椎间盘突出症的首选技术, 由于椎间盘成分不同, 软骨终板、髓核与纤维环在 MRI 上的信号显示存在明显差异[23]。所以 X 片及 CT 所能得到的各项参数均可在 MRI 上测得。并且采用核磁图像来评价腰椎间盘突出症的一些分级及参数却是不能在 X 片及 CT 上进行的。

如临床最常用的核磁腰椎间盘退变分级系统为 Pfirrmann 分级[24], 根据 MRI 上发现的变化, 椎间盘退变分为 5 个级别, 范围从轻度(1 级)到重度(5 级)椎间盘退变: Pfirrmann 通过 MR 的 T2 加权图像对腰椎间盘退变程度进行分级: A 级: 椎间盘的结构呈均匀的白色高信号, 其椎间盘的高度正常。B 级: 椎间盘的结构呈不均匀的白色高信号; 纤维环和髓核的区别比较明显, 有或没有水平灰色带; C 级: 椎间盘结构的信号不均匀, 中间是灰白的信号强度; 纤维环和髓核的区别不明显, 椎间盘的高度正常或略微

下降; D 级: 椎间盘结构的信号不均匀, 呈黑色低信号; 髓核和纤维环之间的区别消失, 椎间盘的高度正常或适度下降; E 级: 椎间盘结构的信号不均匀, 呈黑色低信号; 髓核和纤维环之间的区别消失, 并有椎间隙的塌陷。但是单 5 级分级系统对椎间盘退变的分级不够细致, 虽然能够很好地应用于年轻人, 但用它来对老年人椎间盘退变进行分级时, 发现大约 87% 的退变椎间盘很难确定为它是属于 C 级还是 D 级。并且在老年患者中, 使用该 5 级分级系统不能明确椎间盘退变与其他因素的关系[25]。这一分类随后于 2007 年更新, 纳入了 8 个级别(见表 1)。但常规 MRI Pfirrmann 分级系统的分级标准是以矢状位的图像信息为依据, 是基于形态学的定性评估标准, 难以对椎间盘退变早期蛋白多糖丢失的特点的分子生化水平变化进行准确评估[26]。所以国内外一些学者运用一种新型功能磁共振成像技术来客观并量化评价腰椎间盘退变, 磁共振 T2-mapping 技术可对软骨组织中水、糖类、蛋白质、胶原等成分定量评估, 从而对其退变程度进行判定。通过比较髓核及纤维环的 T2 值定量反映腰椎间盘水分含量, 间盘内水分或蛋白、多糖含量多, 则 T2 值较大, 而胶原含量较多, 可 T2 值较低[27] [28]。此外, 还有学者指出, Modic 变化与腰椎间盘突出症也有相关, Modic 变化是在 MRI 上观察到的椎体终板变化。这些变化与组织学检查结果相关。最初确定了两种不同类型的 Modic 改变(1 型和 2 型), 随后描述了 3 型。1 型改变的特征是 T1 加权序列上的低信号和 T2 加权序列上的高信号, 通常与软骨下骨内的血管肉芽组织有关。2 型改变的特征为 T1 序列高信号和 T2 序列高信号或等信号, 通常与邻近骨髓脂肪替代有关。3 型改变的特征是 T1 和 T2 序列信号均低, 并与终板硬化有关, 通常继发于外伤性损伤[29]。Brooks 等[6]指出, 1 型 Modic 终板改变的腰椎间盘突出症患者可能预后不佳, 其预后程度可能差于 2 型及 3 型的 Modic 终板改变。

Table 1. Pfirrmann grading

表 1. Pfirrmann 分级

分级	髓核内层纤维环信号强度	后方纤维环内外侧纤维信号差别	椎间盘高度
I	均匀的高信号, 和脑脊液相当	明显	正常
II	高信号(强于骶骨前脂肪, 小于脑脊液)或高信号髓核内有裂缝	明显	正常
III	高信号(小于骶骨前脂肪)	明显	正常
IV	中度高信号(比外层纤维环略强)	不明显	正常
V	低信号(等于外层纤维环)	不明显	正常
VI	低信号	不明显	减少 30%
VII	低信号	不明显	减少 30%~60%
VII	低信号	不明显	减少>60%

此外, 对于腰椎间盘突出症核磁图像, 还可通过硬膜外瘢痕来评价其病情程度及术后恢复状况。硬膜外瘢痕评分方法目前广泛应用的是 Ross 等提出的硬膜外瘢痕分级评分方法: 0 = 无疤痕; 1 = 大于 0% 和(或)小于等于 25% 的象限充满疤痕; 2 = 大于 25% 和(或)小于等于 50% 的象限充满疤痕; 3 = 大于 50% 和(或)小于等于 75% 的象限充满疤痕; 4 = 大于 75% 和(或) 100% 的象限充满疤痕[30]。国内学者刘磊等[31]在 Ross 分级基础上提出一种新的 MRI 分级系统, 首先对硬膜外瘢痕进行等级评分(0~10 分), 0 分为无瘢痕组织, 1 分为小于 10% 的瘢痕组织充满椎管空隙面积, 2 分为 11%~20%, 3 分为 21%~30%, 4 分为 31%~40%, 5 分为 41%~50%, 6 分为 51%~60%, 7 分为 61%~70%, 8 分为 71%~80%, 9 分为 81%~90%, 10 分为大于 90%, 再依据下列公式计算硬膜外瘢痕平均面积及瘢痕指数:

单层面硬膜外瘢痕面积 = (椎管面积 - 硬膜囊面积 - 神经根面积) × 同层面硬膜外瘢痕等级评分 × 10%。

硬膜外瘢痕平均面积 = \sum 单层面硬膜外瘢痕面积 \times 1/5。

硬膜外瘢痕指数 = \sum 各层面硬膜外瘢痕面积/ \sum 各层面椎管内空隙面积。

但该方法依旧具有局限性, 比如血肿机化、再突出椎间盘等因素难以与硬膜外瘢痕鉴别, 面积的测定难以精准等。尽管评价腰椎间盘突出各种标准层出不穷, 但 MRI 目前依旧是最佳的选择, 未来也需要更多的临床研究对不同评价标准的准确性进行检验, 总结出更为精确可靠的评价标准。

5. 结语

综上所述, 关于腰椎间盘突出症的病情程度及术后恢复状况的评价方法多种多样, 尽管文中说到最佳选择是核磁图像, 但在实际临床工作中, 难以单独以一种影像资料去评价患者的病情程度及术后恢复状况, 并且更多时候要考虑患者的经济水平与医疗成本等问题。所以如何选择检查方式是一个临床医生至关重要的一项工作。X 线检查具有便宜快捷的优势, 可以对腰椎间盘突出情况进行初步的判断, 但准确性较差, 不能直观地看到椎间盘等组织。CT 能清楚地显示椎间盘的突出部位、大小、形态和神经根以及硬脊膜的受压情况, 但是辐射剂量大, 并且后期还有进一步完善 MRI 的可能。MRI 虽然对人体无害, 并且 X 片及 CT 所能得到的各项参数均可在 MRI 上测得, 但其价格昂贵。这些都是我们作为一个临床医生开具检查前必须要思虑周到的地方。

参考文献

- [1] 鲍铁周, 宋永伟. 腰椎间盘突出症诊疗指南编写报告[J]. 世界中医骨科杂志, 2011(1): 22-23.
- [2] Satoh, I., Yonenobu, K., Hosono, N., et al. (2006) Indication of Posterior Lumbar Interbody Fusion for Lumbar Disc Herniation. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **19**, 104-108. <https://doi.org/10.1097/01.bsd.0000180991.98751.95>
- [3] 吴佳源, 田伟. 腰椎人工椎间盘置换术的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(3): 268-274.
- [4] 任博文, 韩振川, 吴剑慧, 刘建恒, 刘庆祖, 毛克亚. 腰椎椎间融合影像学评价方法的研究进展[J]. 解放军医学院学报, 2022, 43(8): 901-906.
- [5] 李响作, 奚春阳, 徐公平, 由长城, 庄金鹏, 闫景龙. 腰椎植骨融合术后融合效果的影像学评价[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2014, 28(10): 944-946. <https://doi.org/10.13507/j.issn.1674-3474.2014.10.004>
- [6] Brooks, M., Dower, A., Abdul Jalil, M.F. and Kohan, S. (2020) Radiological Predictors of Recurrent Lumbar Disc Herniation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **34**, 481-491. <https://doi.org/10.3171/2020.6.SPINE20598>
- [7] Kim, J.E. and Choi, D.J. (2018) Clinical and Radiological Outcomes of Unilateral Biportal Endoscopic Decompression by 30° Arthroscopy in Lumbar Spinal Stenosis: Minimum 2-Year Follow-Up. *Clinics in Orthopedic Surgery*, **10**, 328-336. <https://doi.org/10.4055/cios.2018.10.3.328>
- [8] 单晓威, 王久清, 陈腾. 下腰痛患者腰椎间盘突出与椎间高度指数及腰椎前凸角的关系[J]. 医药论坛杂志, 2022, 43(15): 15-18.
- [9] Ferrara, L., Ford, W., Nunley, P.D., Boyan, B.D. and Stone, M.B. (2020) Critical Evaluation of Biomechanical Principles and Radiographic Indicators for Fusion Assessment in a Novel Conformable Porous Mesh Implant. *International Journal of Spine Surgery*, **14**, S108-S114.
- [10] Lee, J.M., Kang, S.W. and Bahk, Y.W. (1989) Measure-Set Computed Tomography in the Diagnosis of Herniated Nucleus Pulposus. *Journal of Korean Medical Science*, **4**, 7-11. <https://doi.org/10.3346/jkms.1989.4.1.7>
- [11] 管国义, 马乐. 腰椎间盘突出症患者 CT 影像学特征与病情、疗效的关系[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(2): 403-408.
- [12] Li, L., Hai, Y., Yang, J., Xu, C., Yuan, J., Sun, J., Wang, Q. and Yang, X. (2020) Correlation between Preoperative CT Imaging Parameters and Clinical Outcome of Lumbar Spinal Stenosis Treated with Endoscopic Transforaminal Decompression. *Journal of International Medical Research*, **48**, 1-11. <https://doi.org/10.1177/0300060519894078>
- [13] 李培, 张智鹏. 腰椎 CT 定量参数诊断 LDH 的价值及与退变程度的关系[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(5): 647-652.
- [14] 钱向辉, 王波. CT 检查及图像后处理对腰椎间盘突出症的诊断价值和射频消融治疗的定位意义[J]. 影像科学与

光化学, 2021, 39(5): 760-763.

- [15] 刘敏. MRI 与 CT 分别诊断腰椎间盘突出症患者的对比分析[J]. 航空航天医学杂志, 2014, 25(9): 1228-1229.
- [16] 王少锋, 孟小庆, 吴占勇, 高峰. 腰椎 CT 矢状面屈曲角、终板屈曲深度和双侧腰大肌横断面积差值诊断腰椎间盘突出症(LDH)的价值及与退变程度的关系[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(3): 386-390.
- [17] Kennedy, D.J., Plastaras, C., Casey, E., Visco, C.J., Rittenberg, J.D., Conrad, B., Sigler, J. and Dreyfuss, P. (2014) Comparative Effectiveness of Lumbar Transforaminal Epidural Steroid Injections with Particulate versus Nonparticulate Corticosteroids for Lumbar Radicular Pain Due to Intervertebral Disc Herniation: A Prospective, Randomized, Double-Blind Trial. *Pain Medicine*, **15**, 548-555. <https://doi.org/10.1111/pme.12325>
- [18] 钟尚鸿, 梁文琪. 腰椎间盘突出 MRI 与 CT 诊断的准确性及临床价值比较[J]. 生物医学工程学进展, 2020, 41(4): 209-211.
- [19] Wang, Z., Weitzmann, M.N., Sangadala, S., Hutton, W.C. and Yoon, S.T. (2013) Link Protein N-Terminal Peptide Binds to Bone Morphogenetic Protein (BMP) Type II Receptor and Drives Matrix Protein Expression in Rabbit Intervertebral Disc Cells. *Journal of Biological Chemistry*, **288**, 28243-28253. <https://doi.org/10.1074/jbc.M113.451948>
- [20] 张福, 肖湛, 郑志利, 梁宇强. 《骨关节磁共振影像解剖图谱》出版: 比较 MRI 与 CT 在椎间盘突出的诊断价值差异及其临床应用价值分析[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30(8): 863.
- [21] 张瑞强. 腰椎间盘突出 MRI 与 CT 诊断的应用价值分析[J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(9): 77-79. <https://doi.org/10.15971/j.cnki.cmdi.2022.09.030>
- [22] Zak, L., Tiefenboeck, T.M. and Wozasek, G.E. (2021) Computed Tomography in Limb Salvage and Deformity Correction-3D Assessment, Indications, Radiation Exposure, and Safety Considerations. *Journal of Clinical Medicine*, **10**, Article 3781. <https://doi.org/10.3390/jcm10173781>
- [23] 张小刚, 张军, 周涛, 左东红, 贺小玲, 陈富春, 耿亚库. 腰椎间盘突出症患者突出椎间盘与邻近椎间盘退变的 MRI 表现分析[J]. 实用临床医药杂志, 2018, 22(21): 146-148, 151.
- [24] 梁冬波, 李剑峰, 王力平. 腰椎间盘突出症患者腰臀部压敏点与磁共振影像学表现的相关性研究[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2018, 26(4): 45-49, 53.
- [25] 汪红亮, 周捷, 周涛, 李健, 查本义, 戚轩. 腰痛椎间盘高度与 Pfirrmann 退变分级的关系[J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31(9): 859-861.
- [26] 冯国洋, 郭龙军, 王娟, 李昌, 鹿梦岩. MRI 参数对腰椎间盘突出症患者椎间盘退变程度的评估价值及与 JOA、VAS 评分相关性[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(2): 207-212.
- [27] 宋海龙, 彭如臣, 钟佳利, 信瑞强, 赵爽, 张双, 杨新颖, 陈学明. 磁共振 T2 Mapping 序列在腰椎间盘突出退行性病变中的应用价值[J]. 中国医学装备, 2018, 15(10): 40-43.
- [28] Menacho, K., Abdel-Gadir, A., Moon, J.C. and Fernandes, J.L. (2019) T2* Mapping Techniques: Iron Overload Assessment and Other Potential Clinical Applications. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, **27**, 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2019.04.008>
- [29] Jones, A., Clarke, A., Freeman, B.J., Lam, K.S. and Grevitt, M.P. (2005) The Modic Classification: Inter- and Intraobserver Error in Clinical Practice. *Spine*, **30**, 1867-1869. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000173898.47585.7d>
- [30] Ross, J.S., Obuchowski, N. and Modic, M.T. (1999) MR Evaluation of Epidural Fibrosis: Proposed Grading System with Intra- and Inter-Observer Variability. *Neurological Research*, **21**, S23-S26. <https://doi.org/10.1080/01616412.1999.11758604>
- [31] 刘磊, 曹晓建, 吴小涛, 庄苏阳, 王军. 内窥镜下髓核摘除术后硬膜外瘢痕的 MRI 测量及评估[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(6): 485-488.