

DTI 在腰椎间盘突出退行性改变中的应用初探

褚相乐, 马景旭, 邱雪玲, 邓佳敏, 王云玲, 赵丽萍, 王红

【摘要】 目的:探讨扩散张量成像(DTI)定量指标 ADC 及 FA 值与腰椎间盘突出退行性改变 Pfirrmann 分级的相关性。**方法:**将 105 例腰腿痛患者纳入研究,所有患者行椎间盘常规 MRI 及矢状面 DTI 扫描,根据 T₂WI 上椎间盘的特点对 525 个腰椎椎间盘进行 Pfirrmann(Pm)分级,观察邻近终板的退变情况,测量椎间盘髓核区的 ADC 值及 FA 值并比较各级椎间盘之间的差异,采用 Spearman 等级相关检验分析 ADC 和 FA 值与 Pm 分级的相关性,并计算 2 个指标对椎间盘退变(Pm IV~V 级)的诊断效能。**结果:**105 例共 525 个腰椎椎间盘中 Pm I~V 级分别有 41、112、164、141 和 67 个。经方差分析,Pm I 和 II 级椎间盘间 ADC 值、Pm IV 及 V 级椎间盘间 ADC 值和 FA 值的差异无统计学意义($P>0.05$),其余各分级之间 2 个指标的差异有统计学意义($P<0.05$)。经 ROC 分析,ADC 值及 FA 值对 Pm IV、V 级椎间盘的诊断效能分别为 0.846 和 0.932,两者间差异有统计学意义($P<0.05$)。Spearman 秩相关分析显示,椎间盘退变 Pm 分级与 ADC 值呈负相关($rs=-0.66, P<0.05$),与 FA 值呈正相关($rs=0.805, P<0.05$)。**结论:**DTI 作为定量 MRI 的一种特殊检查技术,其测量参数与 Pfirrmann 分级之间具有很好的相关性,可作为一种无创性的检查方法应用于椎间盘退变的研究。

【关键词】 磁共振成像;扩散张量成像;定量分析;腰椎;椎间盘病变

【中图分类号】R 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2016)01-0081-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.01.019

Application of diffusion tensor imaging in lumbar intervertebral disc degeneration: a preliminary study CHU Xiang-le, MA Jing-xu, QIU Xue-ling, et al. Department of Medical Imaging, the Second Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830063, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the correlation between quantitative DTI parameters (ADC and FA) and Pfirrmann grades of human intervertebral disc degeneration. **Methods:** 105 patients with lumbago were included and underwent conventional MRI and DTI. Totally 525 lumbar intervertebral discs were assessed by Pfirrmann grading system in terms of degeneration by analyzing signal intensity and morphology on routine T₂WI. The morphological changes of adjacent endplates were observed. ADC and FA values of disc nucleus pulposus were measured and their variances in different grades were analyzed. The ability of FA and ADC to detect lumbar disc of Pm IV~V grades was compared by ROC curve. The correlations between Pfirrmann grades and the two parameters were assessed by Spearman rank correlation test. **Results:** In all of the 525 lumbar intervertebral discs, the number of grade I~V was 41, 112, 164, 141 and 67, respectively. Statistical differences of ADC and FA values were found among degenerated discs of different grades ($P<0.05$), except ADC values between grade I and II, ADC and FA values between grade IV and V ($P>0.05$). The diagnostic efficiency of ADC and FA value for differentiating grade IV~V from grade I~III were 0.846 and 0.932 ($P<0.05$), respectively. There was negative correlation between ADC value and Pm grade ($rs=-0.66, P<0.05$). On the contrary, disc degeneration grade was positively correlated with FA value ($rs=0.805, P<0.05$). **Conclusion:** As a special quantitatively MRI technique, its parameters have good correlation with Pfirrmann grade, which could be used as a noninvasive method for the research of intervertebral disc degeneration.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Diffusion tensor imaging; Quantitative study; Lumbar; Intervertebral disc diseases

腰腿痛已成为临床常见疾病,椎间盘退行性改变目前被认为是腰腿痛的首要病因,可增加中老年人椎间盘突出风险。MRI 是诊断椎间盘病变的首选检查方法,通过椎间盘的信号强度和形态学改变可对其做出定性诊断。近年来 MRI 从形态成像发展到功能成

像,多种 MRI 技术在椎间盘退变的诊断中得到应用,扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)技术可反映组织细胞微细结构变化,但在椎间盘退变诊断中的应用报道尚少,本文对 DTI 在腰椎间盘突出退行性改变中的诊断价值进行初步探讨。

材料与方法

1. 病例资料

作者单位:830063 新疆医科大学第二附属医院影像中心

作者简介:褚相乐(1986-),男,河南驻马店人,住院医师,硕士研究生,主要从事磁共振功能成像研究工作。

通讯作者:王红, E-mail: wangh_xj@163.com

病例纳入标准:①年龄在 30~50 岁之间;②3 个月以上慢性腰腿痛病史;③自愿参加本研究并签署知情同意书。病例排除标准:①体内有金属植入物、幽闭恐惧症、多动、不能配合检查者;②有脊柱手术史,炎症、肿瘤及其他严重全身性病变者;③图像后处理质量不合格无法测量相关指标。按以上纳入、排除标准,搜集 2014 年 8 月—2015 年 6 月在新疆医科大学第二附属医院接受腰椎 MRI 检查者作为研究对象,共 105 例患者纳入本组研究,其中男 50 例,女 55 例,年龄 (40.0 ± 9.8) 岁。

2. MRI 检查

MRI 检查采用 Philips Achieva 1.5T 双梯度磁共振扫描仪,8 通道脊柱相控阵表面线圈行常规 MRI 及 DTI 矢状面扫描。扫描参数:矢状面 T_1 WI, TR 400 ms, TE 8 ms, 平均激励次数 1;矢状面 T_2 WI, TR 2500 ms, TE 100 ms, 平均激励次数 3;轴面 T_2 WI, TR 2584 ms, TE 120 ms, 平均激励次数 3;层厚 4 mm, 层间隔 0.5 mm。DTI-EPI 序列扫描参数:TR 2665 ms, TE 56 ms, 平均激励次数 5, 视野 $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, 矩阵 128×89 , b 值取 0、400 s/mm^2 , 在 16 个方向上施加扩散敏感梯度, 层厚 5 mm, 间隔 1 mm。

3. 椎间盘分级

参照国际公认的评价椎间盘退变程度的 Pfirrmann(Pm)分级标准^[1], 对各椎间盘进行分级。根据 T_2 WI 矢状面图像上椎间盘髓核信号强度、髓核与纤维环分界及椎间隙高度将椎间盘退变程度分为 I~V

级。以上图像分析由两位有丰富 MRI 诊断经验的高年资医师完成, 对有分歧者经两者商议后达成一致。

4. DTI 原始数据处理

将 DTI 序列原始数据传入 Philips 后处理工作站, 自动生成各向异性分数图、表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)图。因兴趣区(region of interest, ROI)的选择可影响测量结果的准确性, 并且髓核退变后范围较前增大, 故本研究在矢状面 DTI 原始图像($b=0\text{ s/mm}^2$)中手动勾画椎间盘中间 1/2 区域作为 ROI, 大小 $60 \sim 80\text{ mm}^2$ (图 1), 各椎间盘重复测量 3 次, 以平均值作为各自 ADC 值及部分各向异性指数(fractional anisotropy, FA)值。整个测量过程由一位有 5 年以上工作经验的医师完成。

5. 统计学分析

应用 SPSS 17.0 及 MedCalc 11.4.2 统计软件进行统计学分析, 定量数据采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, ADC 值及 FA 值比较采用单因素方差分析, 方差不齐时采用 Dunnett T3 进行两两比较。ADC 值及 FA 值诊断效能比较采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析, 采用 Spearman 秩相关检验对各指标与退变分级进行相关性分析, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 腰椎间盘突出 Pfirrmann 各级分布情况

纳入研究的 525 个腰椎间盘经后处理均获得较理



图 1 DWI($b=0\text{ s/mm}^2$) 图像, 各椎间隙层面内黑圈为手画 ROI 区域。图 2 男, 45 岁, 腰椎间盘突出。a) T_2 WI 示 $L_{2/3}$ — L_{5/S_1} 各椎间盘不同程度膨出及突出, $L_{1/2}$ 椎间盘为 Pm II 级, $L_{2/3}$ 椎间盘为 Pm III 级, $L_{3/4}$ — L_{5/S_1} 椎间盘为 Pm IV 级; b) ADC 图示 $L_{3/4}$ — L_{5/S_1} 椎间盘信号降低; c) FA 图示 $L_{3/4}$ — L_{5/S_1} 椎间盘信号明显较 $L_{1/2}$ 高, $L_{2/3}$ 信号稍高于 $L_{1/2}$ 椎间盘。

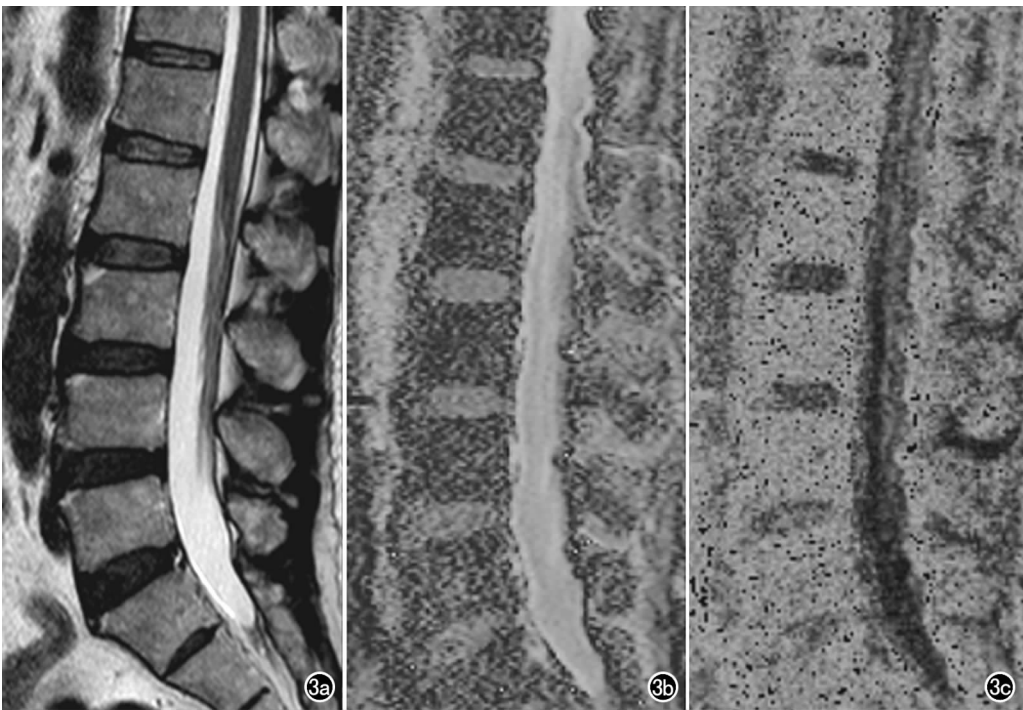


图 3 女,48 岁,腰椎轻度退行性改变。a) T₂WI 示各腰椎体前缘唇样增生, L_{1/2}、L_{2/3} 椎间盘为 Pm III 级, L_{3/4}—L₅/S₁ 椎间盘为 Pm IV 级; b) ADC 图 示 L_{3/4}—L₅/S₁ 椎间盘信号降低; c) FA 图 示 L_{4/5}—L₅/S₁ 椎间盘信号明显增高, L_{3/4} 较 L_{1/2}、L_{2/3} 椎间 盘信号稍高。

想的图像, Pm I—V 级椎间盘数量见表 1。

表 1 椎间盘 Pfirrmann 各级分布情况 (个)

Pm 分级	椎间盘					合计
	腰 _{1/2}	腰 _{2/3}	腰 _{3/4}	腰 _{4/5}	腰 ₅ /骶 ₁	
I	22	6	5	5	3	41
II	35	35	17	19	6	112
III	24	43	38	27	32	164
IV	19	16	35	32	39	141
V	5	5	10	22	25	67

各级腰椎间盘的分布差异有统计学意义($\chi^2=78.218, P<0.05$), 其中 Pm III 级椎间盘数量最多。图像分析过程中发现部分椎体终板退变、椎间盘膨出及突出等退变(图 2、3)。

2. 各级椎间盘 ADC 值及 FA 值比较

以 40 岁年龄为界, 将 105 例患者分为两组(30~40 岁 50 例, 40~50 岁 55 例), 经独立样本 *t* 检验, 两年龄组同一 Pm 分级间 ADC 值及 FA 值差异均无统计学意义(表 2)。不考虑年龄因素时, 经单因素方差分析两两比较, Pm I 与 II 级椎间盘间 ADC 值、Pm IV 与 V 级椎间盘间 ADC 值和 FA 值差异均无统计学意义($P>0.05$), 其余各 Pm 分级间差异均有统计学意义($P<0.05$, 表 3)。

表 3 各级腰椎间盘总体 ADC 值及 FA 值比较

Pm 分级	ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值
I	1.947±0.224 [*]	0.337±0.041
II	1.834±0.213	0.361±0.044
III	1.645±0.212	0.426±0.047
IV	1.432±0.239 [#]	0.511±0.059 [#]
V	1.326±0.263	0.541±0.086

注: 经单因素方差分析, * 与 Pm II 级比较 $P>0.05$, # 与 Pm V 级比较 $P>0.05$; 余两两比较 P 值均 <0.05 。

3. ADC 值及 FA 值对椎间盘退变的诊断效能比较

通过 ROC 曲线分析, ADC 值及 FA 值对 Pm IV、V 级的诊断效能(曲线下面积)分别为 0.846 和 0.932, FA 值的诊断效能明显高于 ADC 值(图 4), 差异有统计学意义($Z=4.484, P<0.05$), ADC 值诊断 Pm IV、V 级的敏感度为 74.04%, 而 FA 值的诊断敏感度为 85.10%, FA 值诊断特异度为 86.44%, 高于 ADC 值(82.02%)。

4. ADC 值、FA 值与 Pm 分级的相关性

经 Spearman 秩相关分析显示椎间盘退变 Pm 分级与 ADC 值呈负相关($r_s=-0.660, P<0.05$), Pm 分级与 FA 值呈高度正相关($r_s=0.805, P<0.05$, 图 5)。

表 2 两年龄组 ADC 值及 FA 值比较

Pm 分级	30~40 岁			40~50 岁		
	个数	ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值	个数	ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值
I	25	1.958±0.206	0.332±0.039	16	1.929±0.255	0.345±0.043
II	57	1.836±0.211	0.363±0.044	55	1.832±0.218	0.359±0.045
III	78	1.649±0.183	0.428±0.046	86	1.642±0.236	0.425±0.048
IV	63	1.436±0.221	0.513±0.061	78	1.428±0.255	0.510±0.058
V	27	1.375±0.261	0.530±0.086	40	1.294±0.262	0.549±0.086

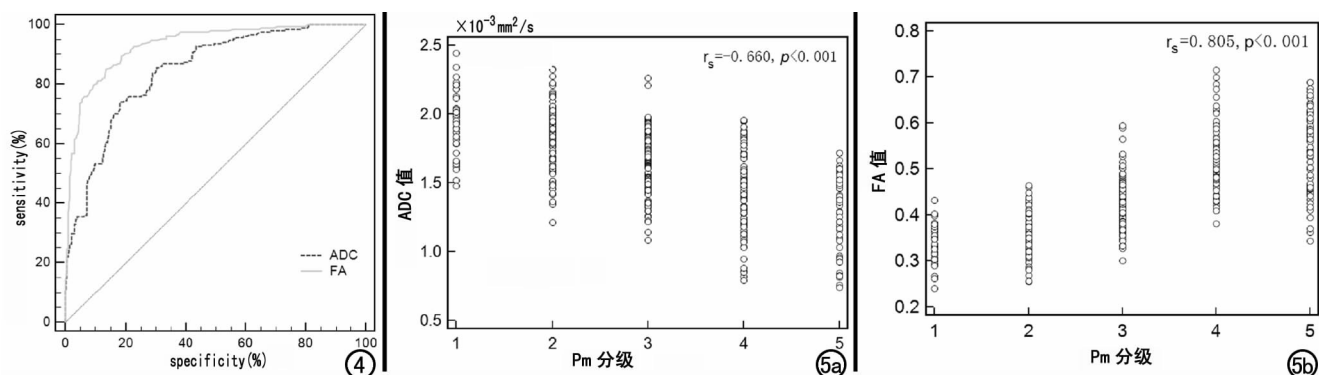


图 4 ADC 值及 FA 值诊断 Pm IV、V 分级的 ROC 曲线。图 5 ADC 值、FA 值与 Pm 分级的相关性散点图。a) ADC 值与椎间盘 Pm 分级相关性散点图；b) FA 值与椎间盘 Pm 分级相关性散点图。

讨论

随着 MRI 技术的迅猛发展, T1 ρ 、T2Mapping、DWI、磁化传递及波谱成像等功能 MRI 技术将椎间盘退变的诊断由形态学带到定量分析的新阶段^[2-3], 这些技术均可检测椎间盘退变过程中早期化学组分的变化。DTI 技术通过多个方向施加扩散敏感梯度来检测水分子扩散速度, 可显示水分子扩散方向性, 有效避开传统 DWI 的 T₂ 透射效应, 可准确反映腰椎间盘内扩散的微细变化, 并用 ADC 值和 FA 值定量表现出来。目前, DTI 在多个系统疾病的诊断中均有应用, 如用于心肌纤维走行、认知障碍等疾病的评估等^[4-5]。本研究对患者实行了严格的纳入、排除标准, 为排除雌激素、骨质疏松对椎间盘退变的影响, 本研究选择 30~50 岁之间的患者为研究对象, 并分年龄段进行分组比较, 通过 ADC 值、FA 值来定量判断腰椎间盘不同退变级别的扩散变化。

椎间盘是由中央的髓核、外围纤维环及上下终板构成的纤维软骨组织, 其营养极为有限。椎间盘髓核的退变较纤维环和软骨终板更明显, 在腰椎负荷量增大时椎间盘变性加速, 变性的髓核沿纤维环的裂隙突向边缘, 形成腰椎间盘膨出、突出及许莫氏结节等退变性病变^[6]。有文献认为软骨终板损伤可引起椎间盘营养和代谢障碍, 导致椎间盘退变, 本研究发现高级别的椎间盘退变多伴有终板的改变, 多以 Modic II 型为主, 分布于 L₄、L₅ 椎体的上下终板, 与既往报道相符^[7]。

既往研究认为 DTI 技术可无创显示椎间盘纤维环的形态和完整性^[8], 同时在诊断椎间盘损伤、退变及负荷运动下椎间盘的变化情况方面也有重要价值^[9], 但是没有得出一致的结论。祝静雅等^[10]认为 ADC 值随着年龄的增长而下降, 并且不同部位间无明显差异, FA 值与年龄无明显相关性。本研究按年龄组分析显示, 两年龄组间相同 Pm 分级的椎间盘 ADC 值及 FA 值差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但 40~50 岁年龄组

各分级 ADC 值稍低于 30~40 岁组, FA 值无明显规律, 可能与本组患者均处于青壮年时期, 各项生理机能处于成熟期, 椎间盘退变速度逐渐减慢, 处于相对平衡期有关, 故两个指标间差异无统计学意义。不考虑年龄因素时, Pm I 与 II 级椎间盘 ADC 值 ($P = 0.064$)、Pm IV 与 V 级椎间盘 ADC 值 ($P = 0.059$) 和 FA 值 ($P = 0.111$) 差异均无统计学意义, 笔者认为 Pm IV 与 V 级间主要区别为椎间隙高度的变化, 两级椎间盘细胞外水分含量差异不大, 因此 ADC 值及 FA 值无明显差异, 其余各级椎间盘 ADC 值及 FA 值差异均有统计学意义, 本研究中 Pm I 级椎间盘 ADC 值为 $(1.947 \pm 0.224) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 与既往报道一致^[11]。随着 Pm 分级的增加, ADC 值呈下降趋势, FA 值呈升高趋势^[12]。椎间盘髓核主要由蛋白多糖及作为其疏松支架的 II 型胶原纤维组成, 具有较强的吸储水功能, 随着年龄的增长及 Pm 分级的增大, 椎间盘蛋白多糖合成数量和质量下降, 髓核储水能力受限, 含水量逐渐减少, 胶原纤维成分逐渐增加, 水分子扩散受限, 从而导致髓核 ADC 值降低^[13-14]。FA 值反映水分子扩散方向与组织结构的关系, 由于椎间盘生物力学负荷能力降低, 髓核中基质退变, 胶原纤维不规则网状结构破坏等原因, 来自纤维环及终板的纤维软骨逐渐取代蛋白多糖, 其内水分子扩散的各项同性受限, 相对各项异性扩散增加, 因此导致 FA 值升高。

本研究显示 ADC 值及 FA 值对 Pm IV、V 级椎间盘的诊断效能分别为 0.846 和 0.932, $\text{AUC}_{\text{ADC 值}}$ 低于 $\text{AUC}_{\text{FA 值}}$, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), ADC 值诊断 Pm IV、V 级的敏感度为 74.04%, 而 FA 值的诊断敏感度为 85.10%; FA 值诊断 Pm IV、V 级的特异度为 86.44%, 高于前者的 82.02%。Pfirrmann 分级是目前国际通用的椎间盘退变分级系统, 以往研究扩散与 Pm 分级的关系多局限于 DWI 序列, 因其受磁场强度及扩散方向数目的限制, 对 DWI 的定量指标与 Pm 分级相关性的研究结果仍无统一论^[15]。本研究采用

DTI-EPI 序列可更准确地测量 ADC 值、FA 值,经 Spearman 秩相关分析,Pm 分级与 ADC 值呈负相关($r_s = -0.660, P < 0.05$),较既往研究相关度稍高^[16]; Pm 分级与 FA 值呈高度正相关($r_s = 0.805, P < 0.05$)。本研究也存在一定不足,如样本量较小、无症状但有椎间盘退变者未纳入、年龄范围有待进一步扩大等,因此这一结论仍需进一步验证。

总之,DTI 技术已广泛应用于多个系统的疾病诊断,其包括的多项定量指标能更准确地反映组织细胞的细微结构变化,因此可作为一种无创性的检查方法应用于椎间盘退变程度的研究,为腰腿疼患者的诊断及治疗提供重要依据。

参考文献:

- [1] Pfirrmann CW, Metzdorf A, Zanetti M, et al. Magnetic resonance classification of lumbar intervertebral disc degeneration[J]. Spine, 2001, 26(17):1873-1878.
- [2] 方元, 刘兰祥, 李京龙, 等. 磁共振波谱成像、T₂ 弛豫时间、扩散加权成像对腰椎间盘退变的初步研究[J]. 磁共振成像, 2011, 2(4): 278-282.
- [3] 蒋小莉, 查云飞, 王娇, 等. 3D-UTE 评价腰椎间盘软骨终板缺损与椎间盘退变的相关性[J]. 放射学实践, 2015, 30(9): 952-955.
- [4] Abdullah OM, Drakos SG, Diakos NA, et al. Characterization of diffuse fibrosis in the failing human heart via diffusion tensor imaging and quantitative histological validation[J]. NMR Biomed, 2014, 27(11):1378-1386.
- [5] 侯美丹, 范国光, 李松柏, 等. 遗忘型轻度认知障碍脑白质纤维束扩散张量成像研究[J]. 放射学实践, 2014, 29(12):1392-1395.
- [6] Kealey SM, Aho T, Delong D, et al. Assessment of apparent diffusion coefficient in normal and degenerated intervertebral lumbar disks: initial experience[J]. Radiology, 2005, 235(2):569-574.
- [7] Albert HB, Briggs AM, Kent P, et al. The prevalence of MRI-defined spinal pathoanatomies and their association with modic changes in individuals seeking care for low back pain[J]. Eur Spine J, 2011, 20(8):1355-1362.
- [8] 殂金燕, 王晨光, 贾宁阳, 等. 腰椎间盘突出性变的 MR 扩散张量成像初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(11):1002-1005.
- [9] 李丽, 周治国, 王敏, 等. ADC 值评估腰椎间盘退变程度的研究[J]. 放射学实践, 2013, 28(12):1279-1282.
- [10] 祝静雅, 王晓明. 扩散张量成像对健康成人腰椎间盘与年龄及解剖部位的相关性研究[J]. 磁共振成像, 2015, 6(7):518-523.
- [11] 李丽, 周治国, 王敏, 等. ADC 值评估腰椎间盘退变程度的研究[J]. 放射学实践, 2013, 28(12):1279-1282.
- [12] Niu G, Yang J, Wang R, et al. MR imaging assessment of lumbar intervertebral disk degeneration and age-related changes: apparent diffusion coefficient versus T₂ quantitation[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2011, 32(9):1617-1623.
- [13] Zhang Z, Chan Q, Anthony MP, et al. Age-related diffusion patterns in human lumbar intervertebral discs: a pilot study in asymptomatic subjects[J]. Magn Reson Imaging, 2012, 30(2):181-188.
- [14] Siepe CJ, Heider F, Haas E, et al. Influence of lumbar intervertebral disc degeneration on the outcome of total lumbar disc replacement: a prospective clinical, histological, X-ray and MRI investigation[J]. Eur Spine J, 2012, 21(11):2287-2299.
- [15] Zhang W, Ma X, Wang Y, et al. Assessment of apparent diffusion coefficient in lumbar intervertebral disc degeneration[J]. Eur Spine J, 2014, 23(9):1830-1836.
- [16] Wang AM, Cao P, Yee A, et al. Detection of extra cellular matrix degradation in intervertebral disc degeneration by diffusion magnetic resonance spectroscopy[J]. Magn Reson Med, 2015, 73(5):1703-1712.

(收稿日期:2015-07-06 修回日期:2015-08-19)