



# MR 扩散张量成像 对腰椎间盘突出手术治疗的诊断价值

罗树彬, 肖文丰, 黄莹, 许道洲, 周云鹏

(胜利油田中心医院磁共振检查科, 山东 东营 257034)

**摘要:**目的 观察正常神经根、术前椎间盘突出神经根及椎间盘突出术后神经根 FA 值及 ADC 值, 探讨腰神经根受压损伤的定量评估方法。方法 选择健康查体志愿者 50 例作为对照组, 39 例椎间盘突出患者作为实验组。测量正常腰神经根及受压腰神经根的 FA 值及 ADC 值。比较: (1) 对照组与实验组 FA 值及 ADC 值。 (2) 对照组内不同影像表现的 FA 值及 ADC 值。 (3) 手术前后 FA 值及 ADC 值。 (4) 对照组与实验组术后的 FA 值及 ADC 值。所测数据使用 SPSS17.0 软件进行数据分析, 若  $P < 0.05$  为差别有统计学意义。结果 (1) 对照组与实验组: FA 值比较,  $z$  值  $-9.246$ ,  $P$  值  $0.000$ 。ADC 值比较,  $z$  值  $-6.762$ ,  $P$  值  $0.000$ 。  $P$  值均  $< 0.05$ , 认为 2 组数据有明显差别。 (2) 对照组内不同影像表现的 FA 值及 ADC 值: FA 值比较,  $t$  值  $1.459$ ,  $P$  值  $0.151$ ; ADC 值比较,  $t$  值  $0.075$ ,  $P$  值  $0.940$ 。  $P$  值  $> 0.05$ , 认为 2 组数据没有差别。 (3) 手术前后 FA 值与 ADC 值: FA 值比较,  $t$  值  $-12.083$ ,  $P$  值  $0.000$ ; ADC 值比较,  $t$  值  $7.870$ ,  $P$  值  $0.000$ 。认为  $P$  值  $< 0.05$ , 2 组数据有明显差别。 (4) 对照组与实验组术后的 FA 值及 ADC 值: FA 值比较,  $t$  值  $1.859$ ,  $P$  值  $0.066$ ; ADC 值比较,  $t$  值  $-1.137$ ,  $P$  值  $0.259$ 。  $P$  值  $> 0.05$ , 认为 2 组数据没有差别。结论 MR DTI 测量椎间盘突出受压神经根 FA 值与 ADC 值, 可以用于定量评估腰神经受压损伤。

**关键词:** 腰椎间盘突出; 磁共振成像; 扩散张量成像

DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2019.02.020

中图分类号: R681.5<sup>+</sup>3; R445.2 文献标志码: A 文章编号: 1002-1671(2019)02-0249-05

## Diagnostic value of MR DTI imaging in surgical treatment of lumbar disc herniation

LUO Shubin, XIAO Wenfeng, HUANG Ying, XU Daozhou, ZHOU Yunpeng

(Department of MRI, Shengli Oilfield Central Hospital, Dongying, Shandong Province 257034, China)

**Abstract: Objective** To observe the FA value and ADC value of normal lumbar nerves, lumbar nerves compressed by disc herniation before and after surgery and to explore the quantitative evaluation method of lumbar nerve root compression injury. **Methods** Fifty healthy volunteers were selected as the control group and thirty-nine patients with disc herniation as the experimental group. FA value and ADC value of normal lumbar nerve root and compressed lumbar nerve root were measured in each group. The following parameters were compared: (1) FA value and ADC values of the control group and the experimental group; (2) FA and ADC values of different imaging findings in the control group; (3) FA and ADC values before and after surgery; (4) FA and ADC values of the control group and surgical group. The measured data were analyzed using SPSS17.0 software. Statistically significant was considered for  $P$  values less than 0.05. **Results** (1) Control group and experimental group: the  $z$  value was  $-9.246$  and  $P$  value was  $0.000$  for comparison of FA value. In comparison of ADC, the  $z$  value was  $-6.762$  and  $P$  value was  $0.000$ . It was considered that the two groups of data had significant differences. (2) FA value and ADC value of different imaging manifestations in the control group: the  $t$  value and  $P$  value were  $1.459$  and  $0.151$ , respectively, in the comparison of FA value. In the comparison of ADC value, the  $t$  value was  $0.075$  and  $P$  value was  $0.940$ . There was no difference between the two groups. (3) FA value and ADC value before and after surgery: comparison of the FA value showed that the  $t$  value was  $-12.083$  and the  $P$  value was  $0.000$ ; the  $t$  value was  $7.870$  and  $P$  value was  $0.000$  in the comparison of ADC value. There was a significant difference. (4) FA value and ADC value of the control group and surgery group: comparison of the FA value showed that the  $t$  value was  $1.859$  and the  $P$  value was  $0.066$ ; the  $t$  value was  $-1.137$  and  $P$  value was  $0.259$  in the comparison of ADC value. There was no difference between the two groups.

**Conclusion** The FA and ADC values of compressed nerve roots measured by MR DTI imaging can be used to assess the injury of lumbar nerve compression quantitatively.

**作者简介:** 罗树彬(1985-), 男, 山东省聊城市人, 硕士, 主治医师。  
研究方向: 神经放射学。

通信作者: 许道洲, E-mail: sddydoctor123@163.com

基金项目: 国家临床重点专科建设项目(国卫办医函[2018]292号)。

**Key words:** lumbar disc herniation; magnetic resonance imaging; diffusion tensor imaging

腰椎间盘突出症是外科多发病,对患者的工作以及生活带来了极大的不便。在工作中发现,患者的影像学表现与临床体征可能不匹配。有些人腰神经根受压的症状很明显,却未检出腰椎间盘突出,有些人检出了腰椎间盘突出,但是没有对应的临床表现,或者症状很轻微<sup>[1]</sup>。MR DTI 可以用于观察神经纤维束的走行<sup>[2]</sup>,也有部分研究者通过获取 DTI 参数进行研究<sup>[3-4]</sup>。笔者思考能否通过腰神经 DTI 观察受损神经的 FA 值及 ADC 值变化,找出腰椎间盘突出压迫腰神经导致相应临床表现的内在规律,为临床提供更加准确的诊断,使治疗更加有效。

### 1 资料与方法

**1.1 研究对象与分组** 椎间盘突出患者 39 例作为实验组,纳入标准:(1)临床诊断椎间盘突出;(2)行 MR 检查符合椎间盘突出;(3)行椎板间扩大开窗减压、髓核摘除术,术后恢复良好;(4)中位年龄 47(范围 27~64)岁。排除标准:(1)影像学资料缺失;(2)既往或目

前患有骶髂关节炎、髋关节病变、梨状肌综合征等可能引起与椎间盘突出有类似临床表现的疾病;(3)手术后症状仍存在。健康志愿者 50 例作为对照组,纳入标准:(1)无持续性腰腿痛病史;(2)未曾诊断过椎间盘突出;(3)中位年龄 41.5(范围 18~55)岁。排除标准:(1)既往影像学检查发现椎间盘突出;(2)既往或患有骶髂关节炎、髋关节病变、梨状肌综合征等可能引起与椎间盘突出有类似临床表现的疾病。所得图像皆经过质量评价,清晰可用。所有受检者皆知情并同意。所有人员均接受 MR 平扫、腰神经根成像、DTI。患者选择手术治疗,术后恢复良好,再次行 MR 检查。

**1.2 设备与扫描技术** MR 成像仪型号为 3.0T 西门子 Trio Tim;图像分析在西门子工作站及蓝韵 PACS 影像系统进行操作。

记录所有患者的临床表现、体征、治疗经过,告知检查注意事项,排除禁忌证,取掉身上金属物体。安排患者平躺在检查床上,成像范围从 L1 椎体上缘到骶椎下缘。扫描参数见表 1。

表 1 腰椎 MR 扫描参数

序列	TR(ms)	TE(ms)	FOV(mm)	NEX	层厚/层间距	矩阵	成像时间
T <sub>2</sub> WI/SAG	3 500	92	320×320	2	3.5/0.35	512/256	2 min 15 s
T <sub>1</sub> WI/SAG	650	9.8	320×320	2	3.5/0.35	512/256	2 min 28 s
T <sub>2</sub> WI/TRA	3 500	94	220×220	2	3/0.9	384/249.6	2 min 01 s
SPACE	3 800	304	320×320	2	1/0	320/304	6 min 22 s
DTI	240	3.88	260×260	1	3.0/0.9	256/256	5 min 23 s

注:APACE,腰神经根成像

**1.3 数据采集** 采集的数据包括:对照组、实验组(手术前后)椎间盘是否压迫腰神经根,腰神经根 FA 值与 ADC 值。请 3 名工作年限>10 年的影像医师对图像质量进行评价,并对椎间盘突出压迫神经根的情况进行统计,意见不统一时协商决定。

ROI 选取与数值测量使用西门子自带工作站 Neuro 3D 软件进行处理。腰神经根成像所得图像作为高分辨率蒙片被用于 DTI 数据测量的定位以提高空间定位准确性。对于健康志愿者,分别在背根神经节处及靠近椎间孔外口远侧端的脊神经选取 ROI。对于椎间盘突出的患者,在神经受压部位的远端选取 ROI。ROI 所选范围尽量大但不能包含神经根外的组织,每次选取 ROI 的面积尽量相同,要求测量 3 次,并取中位数作为最终值。

**1.4 分析内容** 包括对照组与实验组 DTI 测量比较;对照组内不同影像表现的 DTI 测量比较;手术前

后 DTI 测量比较;对照组与实验组术后的 DTI 测量比较。

**1.5 统计学分析** 利用 SPSS17.0 统计软件对研究结果进行统计分析。首先对 2 组数据进行方差齐性检验,如果方差不齐,则选择秩和检验,方差齐性则使用 *t* 检验,手术前后 2 组数据比较使用配对 *t* 检验,结果以  $\bar{x} \pm s$  表示,所有结果精确到小数点后 3 位。 $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

### 2 结果

**2.1 对照组与实验组 FA 值及 ADC 值比较** 对照组测量腰神经 FA 值及 ADC 值。实验组测量椎间盘突出受压神经根 FA 值及 ADC 值(图 1,2)。2 组数据进行比较,见表 2。

**2.2 对照组内不同影像表现 FA 值及 ADC 值比较** 在对照组中,MR 检出椎间盘突出并与神经根有接触者 11 例,无椎间盘突出或者轻度突出但与神经根无接

触者 39 例。针对对照组内出现的不同影像学表现的 2 组数据进行比较,见表 3。

**2.3 手术前后 FA 值及 ADC 值比较** 手术将突出部分的椎间盘摘除,术后 MR 显示神经根受压已解除,测量目标腰神经 FA 值及 ADC 值(图 1,2),将术前术

后结果进行对比,见表 4。

**2.4 同样无症状的对照组与试验组术后 FA 值与 ADC 值比较** 手术治疗后症状缓解,将本组与具有相同临床表现但腰神经未曾受损的对照组进行比较,观察腰神经损伤后的恢复情况,见表 5。

表 2 对照组与实验组 FA 值及 ADC 值比较

项目	对照组	实验组	z 值	P 值
FA 值( $10^{-3}$ )	332.290±50.930	219.416±35.158	-9.246	0.000
ADC 值( $\times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup> /s)	1 329.490±122.928	1 623.578±265.459	-6.762	0.000

表 3 对照组内不同影像表现 FA 值及 ADC 值比较

项目	无突出	有突出	t 值	P 值
FA 值( $10^{-3}$ )	337.808±51.951	312.727±43.754	1.459	0.151
ADC 值( $\times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup> /s)	1 330.192±128.085	1 327.000±108.140	0.075	0.940

表 4 手术前后 FA 值及 ADC 值比较

项目	术前	术后	t 值	P 值
FA 值( $10^{-3}$ )	210.646±33.115	313.690±40.940	-12.083	0.000
ADC 值( $\times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup> /s)	1 649.500±165.083	1 358.972±119.287	7.870	0.000

表 5 同样无症状的对照组内与实验组术后组间比较

项目	对照组	手术后	t 值	P 值
FA 值( $10^{-3}$ )	332.290±50.930	313.690±40.940	1.859	0.066
ADC 值( $\times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup> /s)	1 329.490±122.928	1 358.972±119.287	-1.137	0.259

### 3 讨论

在本研究中,对照组的筛选标准是没有腰腿痛的病史,也没有相关的治疗史,该组人群并没有椎间盘突出的临床表现,但是 MR 检查中部分检出了椎间盘突出,出现了 MR 表现与临床不符合的情况。但是通过 DTI 分析其腰神经根 FA 值及 ADC 值,在对照组中的椎间盘突出阳性与阴性对比无明显差别,说明了即使影像学存在椎间盘突出,甚至突出的椎间盘与神经有机械压迫关系,患者也不一定就会有腰腿痛等相关的临床症状,而 FA 值与 ADC 值在这种情况下却能正确判断腰神经的状态。实验组患者经过手术摘除突出的髓核后,神经根压迫解除,症状缓解,MR 表现阴性,DTI 测量的 FA 值及 ADC 值与术前相比有明显变化,而与正常人群比较无明显差别。说明伴随着治疗过程或病程变化,受压神经的状态也在发生变化,并反映在 DTI 测量的 FA 值及 ADC 值,且与患者的临床表现相对应。

腰椎间盘突出是腰腿疼痛的主要原因<sup>[5]</sup>,但在实

际临床工作中发现,诸多患者髓核突出位置、严重程度和临床症状各不相同。影像学检查为阴性,临床症状上却符合该病,影像学检查结果为阳性,但几乎没有相应临床表现,部分患者椎间盘突出并未治疗,但症状却反复变化。事实上,腰椎间盘突出机械压迫并非是腰腿痛的唯一原因。腰椎 MR 以及腰椎神经成像目前已经得到广泛应用,能够显示髓核突出位置与神经根之间的关系及椎体附属结构的异常表现<sup>[6-7]</sup>。但过高的检出率之下,可能带来新的困惑,腰椎间盘突出未必会导致腰腿痛,或者说腰腿痛未必是椎间盘突出导致的。

MRI 新技术不断推陈出新,并应用于临床,DTI 是近年来在 MR-DWI 基础上发展起来的成像及后处理技术,其借助组织中水分子的自由热运动的各向异性原理,对组织的微观结构进行探测,进而对人体功能进行研究<sup>[8]</sup>。现阶段,DTI 技术具有前沿性,其能够在活体人脑组织中显示白质纤维束走行、方向等信息,这是其他成像技术望尘莫及的<sup>[9]</sup>。DTI 能够将周围神经

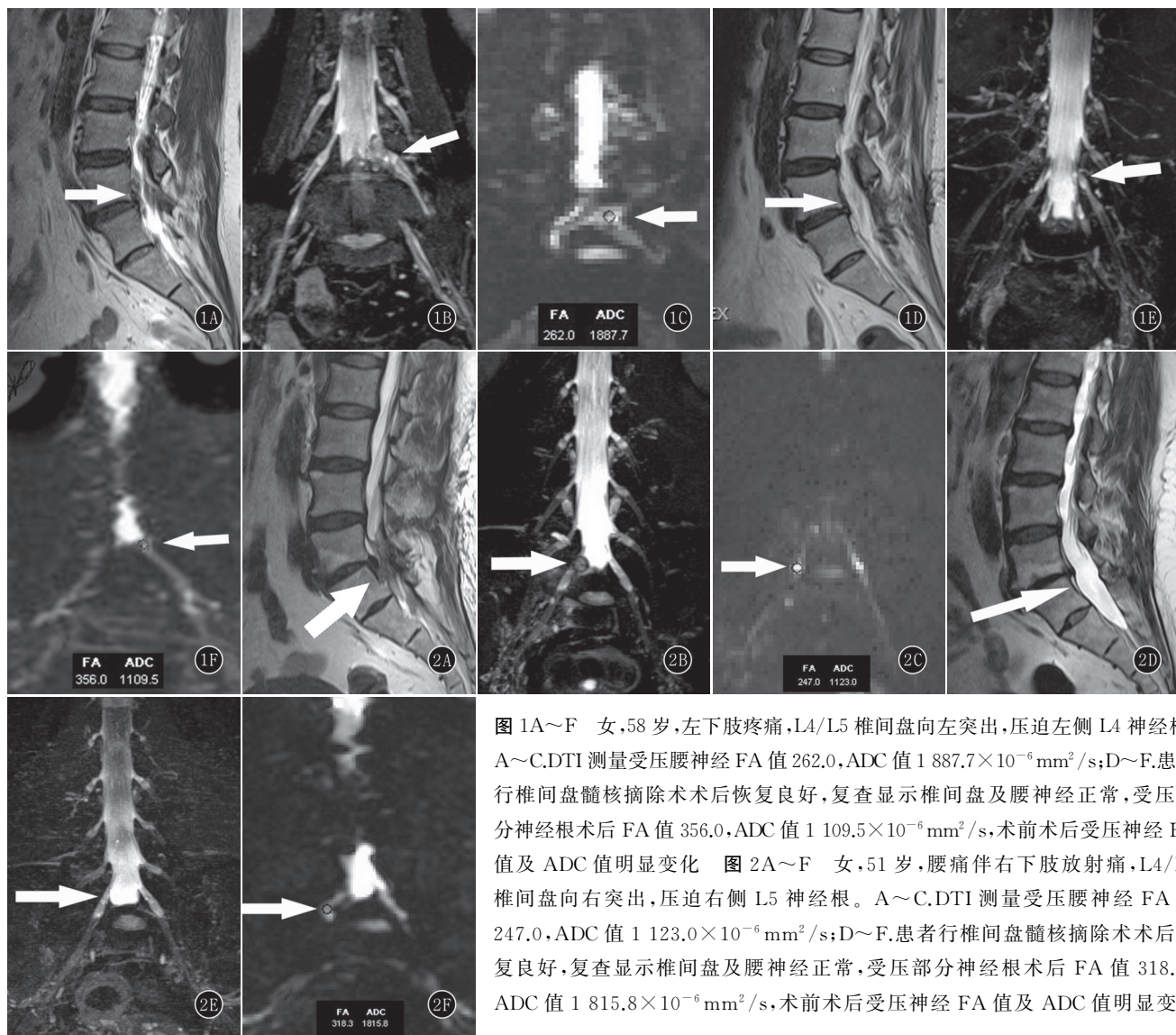


图 1A~F 女,58 岁,左下肢疼痛,L4/L5 椎间盘向左突出,压迫左侧 L4 神经根。A~C.DTI 测量受压神经 FA 值 262.0,ADC 值  $1\ 887.7 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ;D~F.患者行椎间盘髓核摘除术后恢复良好,复查显示椎间盘及腰神经正常,受压部分神经根术后 FA 值 356.0,ADC 值  $1\ 109.5 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,术前术后受压神经 FA 值及 ADC 值明显变化 图 2A~F 女,51 岁,腰痛伴右下肢放射痛,L4/L5 椎间盘向右突出,压迫右侧 L5 神经根。A~C.DTI 测量受压神经 FA 值 247.0,ADC 值  $1\ 123.0 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ;D~F.患者行椎间盘髓核摘除术后后恢复良好,复查显示椎间盘及腰神经正常,受压部分神经根术后 FA 值 318.3,ADC 值  $1\ 815.8 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ ,术前术后受压神经 FA 值及 ADC 值明显变化

内神经纤维束的改变显示出来,并开展定量分析,该分析方法所用的指标主要有质子密度、ADC、FA 等,以神经形态、神经大小等客观指标为依据,创建定量分析方法和标准,可用于分析神经病损发生的分子生物学机制<sup>[10]</sup>。Chuanting 等<sup>[11]</sup>、穆庆华等<sup>[12]</sup>测量正常人的腰骶神经 FA 值大约  $300 \sim 400 (10^{-3})$  左右,与本研究测量数据大致相同,并不完全一致,可能与机器设备、成像序列等因素有关。

综上所述,MR DTI 测量 FA 值与 ADC 值的变化情况与椎间盘突出压迫神经根的临床表现是一致的,能反映腰神经损伤的真实状态,对于提高影像学检查与患者临床症状的相关性,准确判断相关症状的病因,有较大的帮助。

本研究存在的不足:DTI 技术虽然可以量化神经根受压损伤的情况,但目前尚未对神经根受压严重程度或者患者疼痛程度相对应的 FA 值及 ADC 值范围

进行量化分级研究,另外国内外也尚无正常腰神经 FA 和 ADC 值的统一标准。

参考文献:

[1] 胡星新,刘立岷.临床症状体征与影像学检查分离的腰椎间盘突出症的发生机制研究进展[J].中国骨伤,2015,28(10):970-975. DOI:10.3969/j.issn.1003-0034.2015.10.021.

[2] BYBLOW W D,STINEAR C M,BARBER P A,et al.Proportional recovery after stroke depends on corticomotor integrity[J].Ann Neurol,2015,78(6):848-859.DOI:10.1002/ana.24472.

[3] MIYAGI R,SAKAI T,YAMABE E,et al.Consecutive assessment of FA and ADC values of normal lumbar nerve roots from the junction of the dura mater[J].BMC Musculoskelet Disord,2015,16:156.DOI:10.1186/s12891-015-0576-4.

[4] EGUCHI Y,OIKAWA Y,SUZUKI M,et al.Diffusion tensor imaging of radiculopathy in patients with lumbar disc herniation:preliminary result[J].Bone Joint J,2016,98-B(3):387-394.DOI:10.1302/0301-620X.98B3.36036.

可以选择择期手术,疗效欠佳的患者可以选择后续同步放、化疗。早期疗效的预测及监测可以帮助临床医生制订最佳的个性化治疗方案,以及尽可能地避免不必要的药物毒副反应、费用及延误治疗等,为患者的个性化治疗又提供了一种新的应用选择。

本研究还发现 ADC 值的变化早于肿瘤组织形态学变化,尤其是较高 b 值,并且 ADC 值变化率更优于单纯 ADC 值。一些关于 DWI 评价中晚期宫颈癌同步放、化疗疗效的中外文献,多数都选择 b 值为 800 s/mm<sup>2</sup> 或 1 000 s/mm<sup>2</sup>,既兼顾了高 b 值可能带来的 SNR 低影响组织结构及病灶观察的问题,又兼顾了低 b 值所产生的 T<sub>2</sub> 透过效应及血流灌注的影响<sup>[9-10]</sup>。但是对于 b 值的选择目前尚无定论,本研究选取 700 s/mm<sup>2</sup> 和 1 500 s/mm<sup>2</sup> 2 个 b 值,中间 b 值 700 s/mm<sup>2</sup> 可以获得组织结构较为完整的 DWI 图像,便于观察肿瘤组织扩散受限情况及其邻近结构的解剖关系,高 b 值 1 500 s/mm<sup>2</sup> 较好地剔除 T<sub>2</sub> 透过效应及组织血流灌注对肿瘤病灶 ADC 值准确性的影响,联合 2 个 b 值观察宫颈癌介入栓塞治疗前、后肿瘤病灶的变化,通过 DWI 图像及 ADC 值对宫颈癌介入栓塞疗效进行预测和监测。

总之,本研究结果表明,DWI 在评价宫颈癌介入栓塞术后的早期疗效中具有一定的价值,术后第 10 天可以作为评价早期疗效的最佳监测时间点,能够潜在地预测和监测宫颈癌患者介入栓塞治疗疗效。

参考文献:

[1] 罗晓敏,宋莉,吴久玲,等.中国农村妇女宫颈癌检查项目 2012 和 2013 年上报数据结果分析[J].中华预防医学杂志,2016,50

(4):346-350.DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2016.04.012.  
[2] PARK J J,KIM C K,PARK B K,等.预测新辅助化疗后宫颈癌进展:治疗后 DWI 的价值[J].国际医学放射学杂志,2016,39(6):706.DOI:10.19300/j.2016.e0932.  
[3] 柳善刚,任瑞美.弥散加权成像在肿瘤疗效监测和评估中的应用及进展[J].中华临床医师杂志(电子版),2015,9(2):325-329.DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2015.02.033.  
[4] 王欢欢,何健,朱丽晶,等.磁共振扩散加权成像动态监测中晚期宫颈癌放化疗疗效[J].实用放射学杂志,2015,31(1):70-74.DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2015.01.019.  
[5] MCVEIGH P Z, SYED A M, MILOSEVIC M, et al. Diffusion-weighted MRI in cervical cancer[J]. Eur Radiol, 2008, 18(5): 1058-1064. DOI: 10.1007/s00330-007-0843-3.  
[6] HARRY V N, SEMPLE S I, GILBERT F J, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the early detection of response to chemoradiation in cervical cancer[J]. Gynecol Oncol, 2008, 111(2): 213-220. DOI: 10.1016/j.ygyno.2008.07.048.  
[7] 曹崑,郑虹,李英,等.磁共振扩散加权成像在宫颈癌同步放化疗后残余癌判断中的价值[J].实用放射学杂志,2016,32(2):239-242. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2016.02.019.  
[8] 蒋天鹏,杨学刚,许国辉,等.宫颈癌(ⅡB~ⅢB期)动脉灌注化疗栓塞的临床疗效研究[J].实用放射学杂志,2015,31(2):292-295. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2015.02.031.  
[9] 张洁,张亚利,林瑞贞,等.多 b 值 DWI 在宫颈癌及 CIN Ⅲ 诊断中的应用[J].实用放射学杂志,2017,33(5):715-719. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2017.05.017.  
[10] MORIBATA Y, KIDO A, FUJIMOTO K, et al. Feasibility of computed diffusion weighted imaging and optimization of b-value in cervical cancer[J]. Magn Reson Med Sci, 2017, 16(1): 66-72. DOI: 10.2463/mrms.mp.2015-0161.

(收稿日期:2017-05-03;修回日期:2018-07-17)

(下接第 248 页)

[14] SEVCENCO S, HAITEL A, PONHOLD L, et al. Quantitative apparent diffusion coefficient measurements obtained by 3-Tesla MRI are correlated with biomarkers of bladder cancer proliferative activity[J]. PLoS One, 2014, 9(9): e106866. DOI: 10.1371/journal.pone.

0106866.

[15] 周国兴,王铁彬,郝楠馨,等.3.0T 磁共振表观弥散系数比值在膀胱癌术前分级中的评估价值[J].中华医学杂志,2013,93(37):2953-2956. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2013.37.010.

(收稿日期:2018-02-03;修回日期:2018-04-11)

(上接第 252 页)

[5] 汪博,范国光. DTI 在腰椎间盘突出引起腰骶神经根压迫症中的应用价值[J]. 放射学实践, 2016, 31(7): 658-661. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.07.019.

[6] 何涌,杨积昌,何启辉,等.15~24 岁腰骶椎解剖变异与椎间盘突出相关性探讨[J].实用放射学杂志,2017,33(5):732-735,753. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2017.05.022.

[7] 王青云,谭琦瑄,陶仪德,等.3D FS-nSSFP 和 PROSET 序列腰骶脊神经根成像对比分析[J].实用放射学杂志,2013,29(4):638-640,657. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2013.04.034.

[8] SCHEEL M, PROKSCHA T, VON ROTH P, et al. Diffusion tensor imaging of skeletal muscle-correlation of fractional anisotropy to muscle power[J]. Rofo, 2013, 185(9): 857-861. DOI: 10.1055/s-0033-1335911.

[9] 贺露姣,祝巧云,贺发良,等. DTI 在诊断腰椎间盘退变及神经根受压中的应用[J].实用放射学杂志,2017,33(3):471-473. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2017.03.038.

[10] 吴杏,胡久益,王小双,等. FA 值、ADC 值与腰骶丛脊神经根受压程度的相关性研究[J].临床放射学杂志,2017,36(5):710-713. DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2017.05.028.

[11] CHUANTING L, QINGZHENG W, WENFENG X, et al. 3.0T MRI tractography of lumbar nerve roots in disc herniation[J]. Acta Radiol, 2014, 55(8): 969-975. DOI: 10.1177/0284185113508179.

[12] 穆庆华,孙英彩,彭志刚,等.腰骶神经病变扩散张量成像的可行性评估[J].中华放射学杂志,2017,51(12):954-959. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.12.013.

(收稿日期:2018-08-08;修回日期:2018-09-06)