

## 论 著

## 基于磁共振扩散张量成像探讨ADC值及FA值与椎体压缩性骨折时间的相关性\*

徐安琪 原子扬 贺顺岭

王存强\* 顾韵泽

新乡医学院第五临床学院磁共振科  
(河南 新乡 453100)

【摘要】目的 通过MRI表现与椎体压缩骨折外伤时间的相关性研究,寻找椎体损伤后骨折区及水肿区恢复变化规律,探讨MRI表现扩散系数(ADC值)及各向异性分数(FA值)在推断外伤性椎体压缩骨折时间中的应用价值。方法 选取55~65岁女性明确外伤时间患者3例。根据受伤时间分为8个时段,连续进行磁共振动态扫描检查,脊柱线圈 TSE 序列,常规行矢状位T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI、T<sub>2</sub>WI-FS扫描,轴位T<sub>2</sub>WI、DTI扫描,监测观察受伤椎体骨折线区、水肿区及相邻正常椎体的ADC值及FA值。结果:骨折线区在椎体压缩骨折发生后10~30天时,与骨折发生后60~90天时ADC值有明显差异( $P<0.05$ );在骨折发生后0~30天时,与骨折发生后60~90天时FA值有明显差异( $P<0.05$ );椎体受伤后150天内,骨折线区ADC值及FA值与正常区相比,均有明显差异( $P<0.05$ )。骨折发生时骨折线区ADC呈高信号,随着时间增加,骨折线区ADC值呈缓慢下降趋势,但整体数值高于正常区;骨折发生后骨折线区FA值随时间持续缓慢上升,但总体低于正常区FA值。水肿区在骨折50天内与骨折90天后ADC值具有明显差异( $P<0.05$ );骨折40天内与骨折90天后FA值具有明显差异( $P<0.05$ );骨折超过90天后,水肿区ADC值及FA值均与正常区无明显差异( $P>0.05$ )。水肿区的ADC值缓慢上升约1月后持续下降,最终趋于正常;FA值随骨折愈合过程的进展持续升高,逐渐与正常区FA值接近。结论:利用弥散张量成像技术指标ADC值和各项异性指数FA值,可以为推测椎体损伤时间提供重要依据,为椎体判断受损时间以及评价治疗效果提供新方法。

【关键词】腰椎;压缩性骨折;磁共振扩散张量成像;表观扩散系数;各向异性分数

【中图分类号】R683; R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】河南省科技攻关基金资助项目  
(182102310480)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.052

## Study on The Correlation Between ADC Value and FA Value and Vertebral Compression\*

XU An-qi<sup>1</sup>, YUAN Zi-yang, HE Shun-ling, WANG Cun-qiang\*, GU Yun-ze.

Magnetic resonance Department, Xinxiang Medical University, the Fifth Clinical College, Xinxiang 453099, Henan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** Through the study on the correlation between the trauma time of vertebral compression fracture and MRI performance, to find the change law of edema recovery after vertebral injury, and the application value of MRI apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) in inferring the time of traumatic vertebral compression fracture was discussed. **Methods** Three female patients aged 55-65 with definite trauma time were selected. According to the injury time, they were divided into 8 periods. Continuous and dynamic magnetic resonance scanning, spinal coil TSE sequence, sagittal T<sub>1</sub>WI scanning, T<sub>2</sub>WI scanning, T<sub>2</sub>WI-FS scanning, axial T<sub>2</sub>WI scanning and DTI scanning were performed. FA and ADC values of fracture line area, edema area and adjacent normal vertebral bodies were monitored and observed. **Results** There was significant difference in ADC value between 10~30 days after vertebral compression fracture and 60~90 days after fracture ( $P<0.05$ ); There was significant difference in FA value between 0~30 days after fracture and 60~90 days after fracture ( $P<0.05$ ); Within 150 days after vertebral body injury, ADC and FA values in fracture line area were significantly different from those in normal area ( $P<0.05$ ). The ADC in fracture line area showed high signal when fracture occurred. With the increase of time, the ADC value in fracture line area showed a slow downward trend, but the overall value was higher than that in normal area; After fracture, the FA value of fracture line area continued to rise slowly with time, but it was generally lower than that of normal area. There was significant difference in ADC value between edema area within 50 days and 90 days after fracture ( $P<0.05$ ); There was significant difference in FA value between 40 days after fracture and 90 days after fracture ( $P<0.05$ ); After more than 90 days of fracture, there was no significant difference in ADC value and FA value between edema area and normal area ( $P>0.05$ ). The ADC value of edema area increased slowly, decreased continuously after about 1 month, and finally tended to be normal; The FA value continued to increase with the progress of fracture healing, and gradually approached the FA value of normal area. **Conclusion:** The ADC value and FA value of diffusion tensor imaging can provide an important basis for estimating the time of vertebral injury, and provide a new method for judging the time of vertebral injury and evaluating the treatment effect.

**Keywords:** Lumbar Vertebra; Compression Fracture; Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging; Apparent Diffusion Coefficient; Fractional Anisotropy

腰椎压缩性骨折是最常见的脊柱损伤类型之一,造成腰椎压缩性骨折的成因可以是外伤所致,也可以是由于老年性骨质疏松骨折引起。随着我国老龄化程度加重,国家老龄人口比例不断增多,腰椎压缩性骨折的发病率也有随之不断上升的趋势<sup>[1]</sup>,早期诊断及治疗可以为良好治疗提供帮助<sup>[2]</sup>。利用X线测量椎体形态变形程度<sup>[3]</sup>或通过多层螺旋CT(MSCT)、螺旋CT三维重建等技术方法观察、评价骨折情况已得到广泛应用<sup>[4-5]</sup>。然而X线和CT对椎体愈合过程及愈合时间都无法做出准确评判。椎体愈合过程中椎体内组织结构变化对骨折预后价值如何?是否能发现一种能监测骨折愈合时间并进行数字化、量化分析的模型?本研究将选用磁共振DTI成像技术进行探讨。

## 1 资料与方法

**1.1 材料** 研究对象:选取2017年1月至2020年1月我院收治的腰椎压缩性骨折患者3例,明确受伤时间;本研究均明确告知受检者及其家属研究项目简介、试验内容及过程,受检者或其家属均签署临床科研知情同意书。

纳入标准:年龄大于等于60岁;椎体轻度压缩性骨折;轻度骨质增生;脊柱无驼背侧弯;无MRI检查禁忌。排除标准:终板炎椎体;陈旧性压缩性骨折;椎体楔形变或爆裂骨折;脊柱发育畸形;剧烈疼痛、脊髓受压迫、不能平卧等不能配合检查者;骨折端移位;椎体肿瘤或肿瘤性病变。

## 1.2 方法

**1.2.1 图像采集** 以受伤椎体骨折线区作为观察组1,水肿区作为观察组2;选取同病例受伤椎体上一椎体或下一椎体,作为对照组。根据椎体骨折时间,于T $\leq$ 10天、10天<T $\leq$ 20天、20天<T $\leq$ 30天、30天<T $\leq$ 40天、40天<T $\leq$ 50天、50天<T $\leq$ 60天、60天<T $\leq$ 90天、90天<T $\leq$ 150天共8个时段分别进行磁共振跟踪扫描,分别统计骨折区、水肿区和邻近正常椎体的FA值和ADC值。

图像采集采用 Philips Achieva 1.5T 超导型磁共振扫描仪,脊柱线圈 TSE 序列,常规行矢状位 T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI、T<sub>2</sub>WI-FS 扫描,轴位 T<sub>2</sub>WI、DTI 扫描,具体参数如下:如表1

【第一作者】徐安琪,女,研究生,主要研究方向:磁共振肌骨。E-mail: 1745249165@qq.com

【通讯作者】王存强,男,主任医师,主要研究方向:磁共振肌骨。E-mail: 15670505368@163.com

及表2所示。

**1.2.2 数据测量** 由2名研究小组成员对各实验组进行图像后处理分析,在正中矢状面放置ROI(region of interest)感兴趣区,在此范围内采集骨折线区像素,测量ADC值、FA值;同法在水肿区和正常对照区相同位置放置ROI,取相同范围像素,分别测量水肿对照区和正常对照区的ADC值、FA值均数及标准差。

**1.3 统计学方法** 采用spss26.0统计软件进行统计分析,测量数据表示为( $\bar{x} \pm s$ ),各组ADC值及FA值差异采用方差分析法进行分析;采用t检验比较病变椎体与正常椎体在不同时期的ADC值及FA值, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

骨折线区组与正常线区组ADC值、FA值见表3:依据统计学计算,骨折线区在椎体压缩骨折发生后10~30天时,与骨折发生后60~90天时ADC值有明显差异( $P<0.05$ );在骨折发生后0~30天

时,与骨折发生后60~90天时FA值有明显差异( $P<0.05$ );椎体受伤后150天内,骨折线区ADC值及FA值与正常区相比,均有明显差异( $P<0.05$ )。骨折线区组内及组间ADC值与FA值变化趋势见图2A-图2D:骨折发生时骨折线区ADC呈高信号,随着时间增加,骨折线区ADC值呈缓慢下降趋势,有向正常值靠拢的趋势,但整体数值高于正常区;骨折发生后骨折线区FA值随时间持续缓慢上升,但总体低于正常区FA值。

水肿区组与正常线区组ADC值、FA值见表4,水肿区在骨折50天内与骨折90天后ADC值具有明显差异( $P<0.05$ );骨折40天内与骨折90天后FA值具有明显差异( $P<0.05$ );骨折超过90天后,水肿区ADC值及FA值均与正常区无明显差异( $P>0.05$ )。水肿区组内及组间ADC值与FA值变化趋势见图3A-图3D。水肿区的ADC值缓慢上升约1月后持续下降,最终趋于正常;FA值随骨折愈合过程的进展持续升高,逐渐与正常区FA值接近。

表1 矢状位参数

| 序列                   | TR          | TE       | FOV   | NSA | gap   | 层厚  | 层数 |
|----------------------|-------------|----------|-------|-----|-------|-----|----|
| T <sub>1</sub> WI    | shortest    | shortest | 350mm | 2   | 0.4mm | 4mm | 13 |
| T <sub>2</sub> WI    | 3000-4000ms | 120ms    | 350mm | 2   | 0.4mm | 4mm | 13 |
| T <sub>2</sub> WI-FS | 3000-4000ms | 120ms    | 350mm | 2   | 0.4mm | 4mm | 13 |

表2 轴位参数

| 序列                | TR       | TE       | FOV   | NSA | gap   | 层厚  | 层数 |
|-------------------|----------|----------|-------|-----|-------|-----|----|
| T <sub>2</sub> WI | shortest | 100ms    | 190mm | 3   | 0.5mm | 4mm | 12 |
| DTI*              | shortest | shortest | 190mm | 2   | 0mm   | 2mm | 30 |

\*b=800mm<sup>2</sup>/s, 扩散梯度方向: 32

表3 骨折线区与正常区不同时段ADC值与FA值

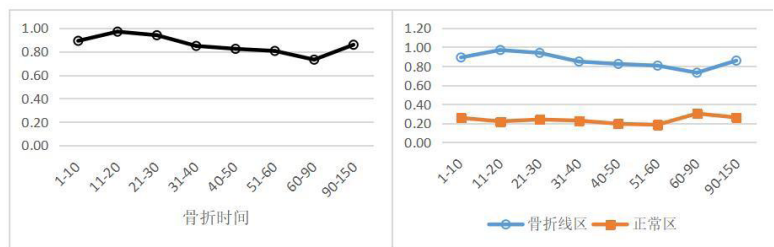
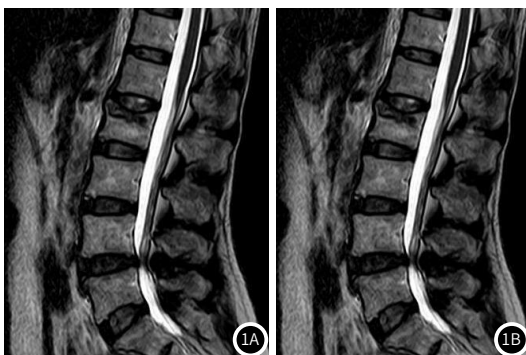
| 组别         | ADC值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s) | FA值         |
|------------|--------------------------------------------|-------------|
| 骨折线区组 ≤10天 | 0.89±0.10①                                 | 0.42±0.04①② |
| 10~20天     | 0.97±0.06①②                                | 0.40±0.02①② |
| 20~30天     | 0.94±0.06①②                                | 0.42±0.01①② |
| 30~40天     | 0.85±0.07①                                 | 0.42±0.05①  |
| 40~50天     | 0.82±0.12①                                 | 0.50±0.07①  |
| 50~60天     | 0.81±0.09①                                 | 0.50±0.05①  |
| 60~90天     | 0.73±0.09①                                 | 0.52±0.04①  |
| 90~150天    | 0.86±0.09①                                 | 0.45±0.02①  |
| 正常区组       | 0.24±0.0                                   | 0.76±0.07   |

注:与正常区组比较 $P<0.05$ ;与骨折线区组60~90天时段比较 $P<0.05$

表4 水肿区与正常区不同时段ADC值与FA值

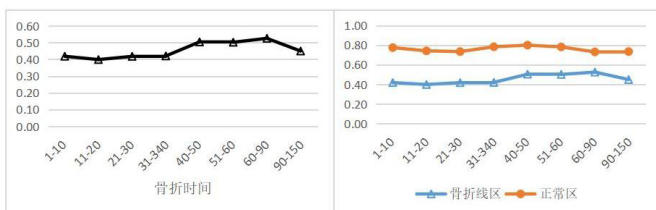
| 组别        | ADC值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s) | FA值         |
|-----------|--------------------------------------------|-------------|
| 水肿区组 ≤10天 | 0.77±0.39①②                                | 0.51±0.13①② |
| 10~20天    | 0.88±0.31①②                                | 0.50±0.10①② |
| 20~30天    | 0.91±0.18①②                                | 0.45±0.08①② |
| 30~40天    | 0.75±0.19①②                                | 0.54±0.10①② |
| 40~50天    | 0.73±0.27①②                                | 0.53±0.11①  |
| 50~60天    | 0.56±0.24①                                 | 0.60±0.10①  |
| 60~90天    | 0.44±0.14①                                 | 0.67±0.09①  |
| 90~150天   | 0.36±0.10                                  | 0.69±0.04   |
| 正常区组      | 0.24±0.08                                  | 0.76±0.07   |

注:与对照组比较 $P<0.05$ ;与观察组>90天比较 $P<0.05$



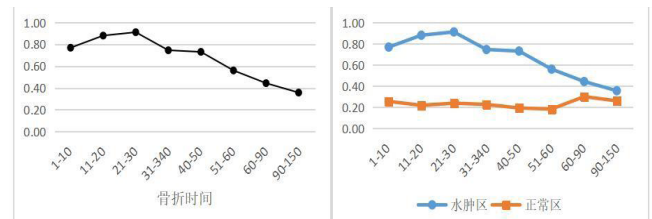
骨折线区 ADC 值

骨折线区与正常区 ADC 值比较



骨折线区 FA 值

骨折线区与正常区 FA 值比较



水肿区 ADC 值

水肿区与正常区 ADC 值比较

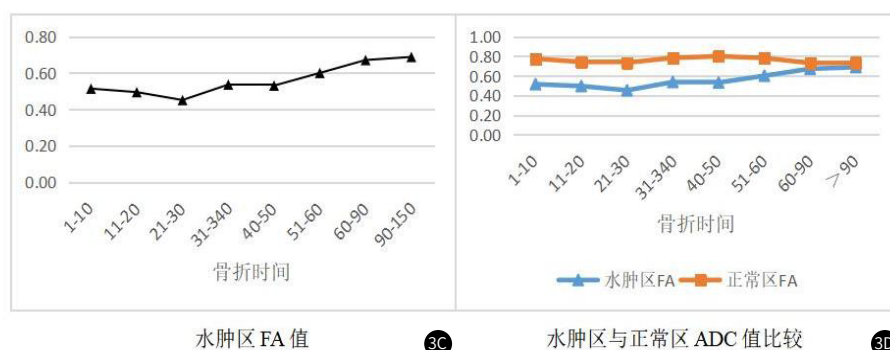


图1 图1A~图1B: 患者女性, 64岁, 常规磁共振检查T<sub>1</sub>WI, T<sub>2</sub>WI及FLAIR序列; 以T<sub>2</sub>WI像为背景的DTI兴趣区采集, 蓝色为骨折线区, 黄色及白色为水肿区, 绿色为正常区。图2 图2A~图2D: 骨折线区ADC值及FA值。图3 图3A~图3D: 水肿区ADC值与FA值

### 3 讨论

腰椎压缩性骨折是指椎体前半部分(前柱)受到前屈曲力的压缩, 脊柱后部的椎弓(后柱)通常正常的情况, 少数有牵引伤。骨质疏松伴有的椎体骨折具有一定隐匿性<sup>[6]</sup>, 如不及时发现会导致病情进展, 引起慢性顽固性腰痛、胸腰椎后凸甚至脊神经功能损害, 加剧患者健康风险<sup>[7]</sup>与经济负担<sup>[8]</sup>。

目前评估骨折发生与愈合主要通过影像学检查, X线和多层螺旋CT及其重建图像中骨痂形成可作为骨折愈合的征象。然而在松质骨折愈合过程中没有明显的类似皮质骨的骨痂形成<sup>[9]</sup>, 这种现象在骨质疏松性压缩性骨折患者中表现更为常见<sup>[10]</sup>, 所以X线平片<sup>[11]</sup>和CT检查难以准确的评判椎体骨折发生与愈合的过程, 磁共振成像更适合对评估腰椎骨折<sup>[12]</sup>。

已有研究显示磁共振对椎体骨折愈合程度判断具有重要意义<sup>[13]</sup>; 也有学者认为, 通过骨折骨髓水肿椎体T1时间可以判断骨折新鲜与陈旧<sup>[14-15]</sup>。但国内外关于DTI与椎体愈合过程相关性研究鲜有报道, 本研究采用DTI技术, 无创探测骨折线区、水肿区与正常区ADC值及FA值, 尝试分析FA值和ADC值变化规律, 将DTI技术应用于监测受损椎体愈合过程。ADC值(apparent diffusion coefficient)反映水分子扩散的范围与移动的速度, ADC值越高, 水分子的扩散范围越广, 扩散速度越快。部分各向异性FA (fractional anisotropy)是水分子各向异性成分占整个弥散张量的比例, FA值越小, 弥散越不受限制<sup>[16]</sup>。对比骨折线区、水肿区与正常区, 骨折线区及水肿区ADC值及FA值随骨折时间进展有相应变化, 组间数据存在差异, 笔者猜测可能与椎体压缩性骨折发生后椎体内组织成分变化有关。椎体骨折初期骨小梁断裂出血、水肿, 水分子扩散运动增强, 弥散系数增大, ADC值升高, 随着椎体愈合, 骨细胞和毛细血管增生、堆积新骨, 细胞外水分子相对减少, 分子弥散运动受到抑制, 致使ADC值降低。本研究及魏君臣<sup>[17]</sup>等的研究结果均能确定骨折椎体愈合与ADC值变化有相关性。有研究DTI在评价绝经后女性腰椎骨质疏松中发现, 骨质疏松与ADC值呈正相关, 与FA值呈负相关<sup>[18]</sup>, 同时也有学者研究认为, 随着股骨颈骨量丢失, 骨小梁逐渐稀疏, 脂肪细胞堆积在骨小梁间隙内堆积, 限制了水分子扩散, 同时也导致组织各向异性占比增加, 从而使骨髓ADC值降低而FA值逐渐增高, 并可以以此早期观察骨质疏松情况<sup>[19-20]</sup>。骨折后FA值随着椎体骨小梁断裂, 限制水分子运动能力减弱, 加之出血水肿, 导致水分子各向异性减小, 随着新生骨小梁的形成、水肿吸收, 使水分子运动受限, 因而各向异性逐渐增大。腰椎压缩性骨折常伴骨质疏松, 骨小梁断裂后修复能力较弱, 笔者推测这是骨折线区ADC值及FA值始终与正常区有明显差异的原因之一。

本研究利用弥散张量成像技术指标ADC值和各项异性指数FA值, 提示了DTI技术可以为推测椎体损伤时间提供重要依据, 为椎体判断受损时间以及评价治疗效果提供了新方法。

### 参考文献

[1] Lin J, Liu H, Yang P, et al. The methodology of locating painful responsible

- vertebrae in osteoporotic vertebral compression fractures[J]. International Journal of Clinical & Experimental Medicine, 2015, 8(3): 4686-4689
- [2] Jin C, Xu G, Weng D, et al. Impact of Magnetic Resonance Imaging on Treatment-Related Decision Making for Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: A Prospective Randomized Trial[J]. Medical Science Monitor International Medical Journal of Experimental & Clinical Research, 2018, 3(24): 50-57.
- [3] Akashi M, Hashikawa K, Kakei Y, et al. Sequential evaluation for bone union of transferred fibula flaps in reconstructed mandibles: panoramic X-ray versus computed tomography[J]. International journal of oral and maxillofacial surgery, 2015, 44(8): 942-947
- [4] Bierry G, Venkatasamy A, Kremer S, et al. Dual-energy CT in vertebral compression fractures: performance of visual and quantitative analysis for bone marrow edema demonstration with comparison to MRI[J]. Skeletal radiology, 2014, 43(4): 485-492.
- [5] 马利锋, 王之王, 冷永新. 多层螺旋CT及容积再现后处理成像技术在诊断腰椎压缩性骨折中的价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(04): 137-139.
- [6] 王旭. 人身损害受伤人员“三期”评定的基本原则[J]. 中国法医学杂志, 2011, 26(2): 169-172
- [7] Schupfner R, Stoevelaar HJ, Blattert T, et al. Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Applicability of Appropriateness Criteria in Clinical Practice[J]. Pain Physician, 2016, 19(1): E113-E120
- [8] Liu R, Chao A, Wang K, et al. Incidence and risk factors of medical complications and direct medical costs after osteoporotic fracture among patients in China[J]. Archives of osteoporosis, 2018, 13(1): 12
- [9] D'Elia G, Roselli G, Cavalli L, et al. Severe osteoporosis: diagnosis of non-hip non-vertebral (NHNV) fractures[J]. Clinical cases in mineral and bone metabolism: the official journal of the Italian Society of Osteoporosis, Mineral Metabolism, and Skeletal Diseases, 2010, 7(2): 85-90
- [10] Mathavan N, Tägil M, Isaksson H. Do osteoporotic fractures constitute a greater recalcitrant challenge for skeletal regeneration? Investigating the efficacy of BMP-7 and zoledronate treatment of diaphyseal fractures in an open fracture osteoporotic rat model[J]. Osteoporosis Int, 2017, 28(2): 697-707.
- [11] Dugonjić S, Ajdinović B, Ćirković M, et al. Bone scintigraphy can diagnose osteoporotic vertebral compression fractures better than conventional radiography[J]. Hellenic Journal of Nuclear Medicine, 2017, 20 Suppl: 155.
- [12] 陈永明, 董建国. 胸腰椎压缩性骨折MRI信号特征及临床应用价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17(2): 130-132.
- [13] Haffner-Luntzer M, Müller-Graf F, Matthys R, et al. Evaluation of high-resolution In Vivo MRI for longitudinal analysis of endochondral fracture healing in mice[J]. PLoS One, 2017, 12(3): e0174283
- [14] Baron K, Neumayer B, Amerstorfer E, et al. Time-Dependent Changes in T1 during Fracture Healing in Juvenile Rats: A Quantitative MR Approach[J]. PLoS One, 2016, 11(11): e0164284.
- [15] 陈学兴. 原发性骨质疏松致椎体压缩性骨折MRI表现[J]. 罕少疾病杂志, 2008(5): 26-28.
- [16] 万正国. DTI在脑膜瘤、胶质瘤及转移瘤患者诊断及手术指导中的应用研究[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(1): 24-26+50.
- [17] 魏君臣, 李保国, 翟宁, 等. ADC值与外伤性椎体压缩骨折时间的相关性研究[J]. 医学影像学杂志, 2013, 23(8): 1285-1288
- [18] 马景旭, 褚相乐, 赵丽萍, 等. 扩散张量成像在原发性骨质疏松中的临床应用[J]. 实用放射学杂志, 2015, 31(12): 1999-2002.
- [19] Manenti G, Capuani S, Fanucci E, et al. Diffusion Tensor Imaging and Magnetic Resonance Spectroscopy assessment of cancellous bone quality in femoral neck of healthy, osteopenic and osteoporotic subjects at 3T: Preliminary experience[J]. Bone, 2013, 55(1): 7-15.
- [20] Manenti G, Capuani S, Fusco A, et al. Osteoporosis detection by 3T diffusion tensor imaging and MRI spectroscopy in women older than 60 years[J]. Aging clinical and experimental research, 2013; 25(Suppl 1): S31-S343

(收稿日期: 2023-02-25)

(校对编辑: 孙晓晴)