

· 临床研究 ·

磁共振扩散张量成像与纤维束成像在脊髓型颈椎病中的应用研究

涂灿, 汪建华, 廖海波, 江凯, 于志海, 王海涛, 吴盛赞, 于亮, 卢斌, 俞武良
(宁波大学医学院附属医院, 浙江 宁波 315020)

【摘要】 目的: 评价磁共振扩散张量成像技术(diffusion tensor imaging, DTI)对脊髓型颈椎病的诊断价值。方法: 对收集的 2014 年 1 月至 2015 年 4 月 20 例健康志愿者和 50 例脊髓型颈椎病(CSM)患者行颈髓 DTI。以健康志愿者作为对照组。依据颈髓 MRI 平扫结果将 CSM 患者分 A、B、C 组, A 组 17 例(单纯硬膜囊受压), B 组 23 例(颈髓受压, 信号正常), C 组 10 例(颈髓受压, T2 高信号)。分析 4 组颈髓的平均表观扩散系数(ADC)、平均分数各向异性值(FA)之间的差异, 对所有受检者行颈髓纤维束成像。结果: 对照组 C₂/C₃、C₃/C₄、C₄/C₅、C₅/C₆、C₆/C₇ 之间 ADC 值及 FA 值差异无统计学意义($P>0.05$), 平均 ADC 值为 $(0.875\pm 0.096)\times 10^{-3}$ mm²/s, 平均 FA 值为 0.720 ± 0.051 ; 对照组与 A 组比较, 平均 ADC 值、FA 值差异无统计学意义, 对照组与 B、C 组及 A、B、C 组间比较, 平均 ADC 值、FA 值差异均有统计学意义。结论: 颈髓 DTI 较常规 MRI 能够早期、准确地量化脊髓型颈椎病的颈髓微结构改变, 颈髓纤维束成像可以反映脊髓纤维束受压损伤的范围。

【关键词】 脊髓型颈椎病; 磁共振成像, 弥散

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2016.03.002

The value of diffusion tensor imaging and fiber tractography in cervical spondylotic myelopathy TU Can, WANG Jian-hua, LIAO Hai-bo, JIANG Kai, YU Zhi-hai, WANG Hai-tao, WU Sheng-zan, YU Liang, LU Bin, and YU Wu-liang. The Affiliated Hospital, Medical College of Ningbo University, Ningbo 315020, Zhejiang, China

ABSTRACT **Objective:** To study the diagnostic value of diffusion tensor imaging (DTI) in cervical spondylotic myelopathy. **Methods:** Twenty healthy volunteers and fifty patients with cervical spondylotic myelopathy underwent DTI in the Affiliated Hospital of Medical College of Ningbo University from January 2014 to April 2015. Healthy volunteers served as controls. Fifty patients were divided into three groups (group A, B, C) according to cervical MRI scan standard. Group A (17 cases) had only the dura mater spinalis compressed; Group B (23 cases) showed the cervical spinal cord compressed, but no high signal in it; Group C (10 cases) had the cervical spinal cord compressed with high signal in the same level. The average apparent diffusion coefficients (ADC) and fractional anisotropy (FA) values in these examinee were analyzed and all subjects were performed fiber tracking. **Results:** There was no statistically significant differences in ADC and FA values in C₂/C₃, C₃/C₄, C₄/C₅, C₅/C₆, C₆/C₇ of control group ($P>0.05$). The average ADC and FA values in control group were $(0.875\pm 0.096)\times 10^{-3}$ mm²/s and 0.720 ± 0.051 , respectively; compared with group A, there was no statistically significant difference; compared with group B and C, there was significant difference; comparison among group A, B, C, there was significant differences. **Conclusion:** DTI can early and accurately quantify the changes of microstructure in cervical spondylotic myelopathy. Fiber tracking can show the damage range of spinal cord lesions.

KEYWORDS Cervical spondylotic myelopathy; Diffusion magnetic resonance imaging

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(3):200-204 www.zggszz.com

脊髓型颈椎病 (cervical spondylotic myelopathy, CSM) 是颈椎病中的常见类型, 呈年轻化的趋势, 并且大部分患者具有进行性加重的特点。CSM 的早期诊断和损伤程度的评估对指导临床治疗、预后评估

具有重要的意义。常规 MRI 难以正确地评价脊髓的损伤程度, 显示脊髓损伤的程度与临床表现不完全相符^[1-2]。扩散张量成像技术(diffusion tensor imaging, DTI)是在扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)的基础上发展起来的新的成像技术, 通过检测脊髓内水分子扩散情况来反映活体脊髓功能状态和微观结构完整性^[3], 从而为临床诊断和治疗提供更多的信息。本文收集了 2014 年 1 月至 2015 年 4 月本院 20 例健康志愿者和 50 例脊髓型颈椎病患

基金项目: 宁波市社会发展资助项目(编号: 2013C50019)

Fund program: By Financial Assistance of Social Development Item of Ningbo City (No.2013C50019)

通讯作者: 汪建华 E-mail: woxingw@sina.com

Corresponding author: WANG Jian-hua E-mail: woxingw@sina.com

者,行颈髓 DTI,分析颈髓的平均表观扩散系数(ADC)、平均分数各向异性值(FA)之间的差异,对所有受检者行颈髓纤维束成像,旨在探讨扩散张量成像与纤维束成像在脊髓型颈椎病中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象

收集 2014 年 1 月至 2015 年 4 月的本院 20 例健康志愿者和 50 例脊髓型颈椎病患者。以健康志愿者作为对照组,对照组 20 例,其中男 12 例,女 8 例,年龄 22~58 岁,平均(40.15±8.32)岁,所有志愿者均无神经系统症状和体征,均无 MRI 检查禁忌证,颈椎常规 MRI 检查无异常。脊髓型颈椎病组 50 例,其中男 30 例,女 20 例,年龄 20~69 岁,平均(44.9±11.7)岁,病程 3~32 年。CSM 入组标准符合 1992 年全国颈椎病专题研讨会制定的 CSM 诊断标准^[4],均无 MRI 检查禁忌证;心脏起搏器植入术后、钢板内固定术后、幽闭恐惧症,且能配合检查。根据常规 MRI 上颈髓受压的程度,将患者分为 A、B、C 组。A 组 17 例,年龄 20~65 岁,为单纯硬膜囊受压,同层面颈髓形态及信号无异常;B 组 23 例,年龄 23~69 岁,为颈髓受压,信号无异常;C 组 10 例,年龄 35~62 岁,为颈髓受压,且同层面颈髓内可见 T2WI 高信号。所有受检者签署知情同意书。各组基线资料经统计学处理差异无统计学意义,见表 1。

表 1 脊髓型颈椎病组间基线资料比较

Tab.1 Comparison of baseline data of the research objects

组别	例数	性别(例)		年龄($\bar{x}\pm s$,岁)
		男	女	
对照组	20	12	8	40.15±8.32
A 组	17	10	7	44.00±12.58
B 组	23	14	9	44.83±12.38
C 组	10	6	4	46.50±9.23

注:4 组间性别、年龄的差异无统计学意义($P>0.05$)

Note: There was no statistically significant difference in the gender and age among the four groups($P>0.05$)

1.2 检查方法

使用 GE 公司 Signa HDxt 1.5T 双梯度磁共振扫描机,发射线圈使用体线圈,接收线圈采用 8 通道相控阵脊柱线圈。常规行矢状位及轴位 T2WI(FRFSE, TR 2720 ms, TE 113 ms) 和矢状位 T1WI(FSE, TR 300 ms, TE 14.8 ms),轴面层厚 3 mm,层间距 1 mm, FOV=20 cm×20 cm,采集矩阵为 320×224, NEX=2。采用单次激发 SE-EPI 成像序列进行颈髓 DTI 的轴面成像,检查过程中嘱患者平静呼吸,避免头颈部运动

和吞咽动作,扫描范围 C₂-C₇ 水平,采用高级匀场和抑脂技术,扩散敏感梯度方向取 15 个不同方向, TR=5000 ms, TE=84 ms,层厚 4 mm,层间距 0, NEX=4, FOV=24 cm×24 cm,采集矩阵为 128×128,扩散加权系数(b 值)分别为 0 和 700 s/mm²。

1.3 图像处理

将采集到的原始数据传送到 ADW4.5 工作站,应用 Functool 4.5 软件进行后处理,校正变形及选定阈值后获得 ADC 图和 FA 图。并对所有受检者进行脊髓的纤维束示踪成像。

1.4 观察项目与方法

ADC 及 FA 值测量全部在轴面 ADC 图和 FA 图像上进行。对照组选择椎间盘水平进行颈髓测量分析,所取感兴趣面积为 18~20 mm²,选择颈髓中央;CSM 组根据 T2WI 选择分析受压层面,根据轴位 b=0 图像和扩散图像确定感兴趣区,所取感兴趣面积 5~10 mm²,置于颈髓 T2 高信号区,T2 信号无改变者置于脊髓受压最明显区域。每个数据测量 3 次取其平均值,均应尽量避免脑脊液和其他伪影的影响。观察 DTI 伪彩色图、纤维素成像图的变化,比较 DTI 各参数值的差异。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 18.0 统计软件,计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表达,所有数据经正态分布及方差齐性检验,多组比较先采用方差分析,发现差异有统计学意义后进一步采用 *t* 检验进行两两比较,并用 Bonferroni 法校正检验水准。默认检验水准为 0.05, Bonferroni 校正后的检验水准为 0.05/*k*, *k* 为比较次数;*P* 值小于检验水准说明比较具有统计学意义。

2 结果

2.1 对照组

常规 MRI 显示颈髓形态和信号正常,DTI 满意。纤维束成像能清楚显示颈髓的神经纤维。

2.1.1 DTI 参数图及纤维束成像图 ADC 图上颈髓呈蓝绿色信号,脑脊液呈红黄色信号,FA 图上颈髓呈深红色信号,脑脊液呈蓝绿色信号,纤维束成像图清晰显示颈髓呈头尾方向的均匀红色(见图 1)。

2.1.2 DTI 参数值 C₂/C₃、C₃/C₄、C₄/C₅、C₅/C₆、C₆/C₇ 对应脊髓的 FA 值和 ADC 值差异均无统计学意义($P>0.05$),平均 ADC 值为(0.875±0.096)×10⁻³ mm²/s,平均 FA 值为 0.720±0.051。

2.2 患者组

常规 T1WI、T2WI 显示颈椎病患者硬膜囊和(或)脊髓不同程度地受压变形,部分患者脊髓内见 T2 高信号。

2.2.1 DTI 参数图纤维束成像图 ADC 图上,A 组

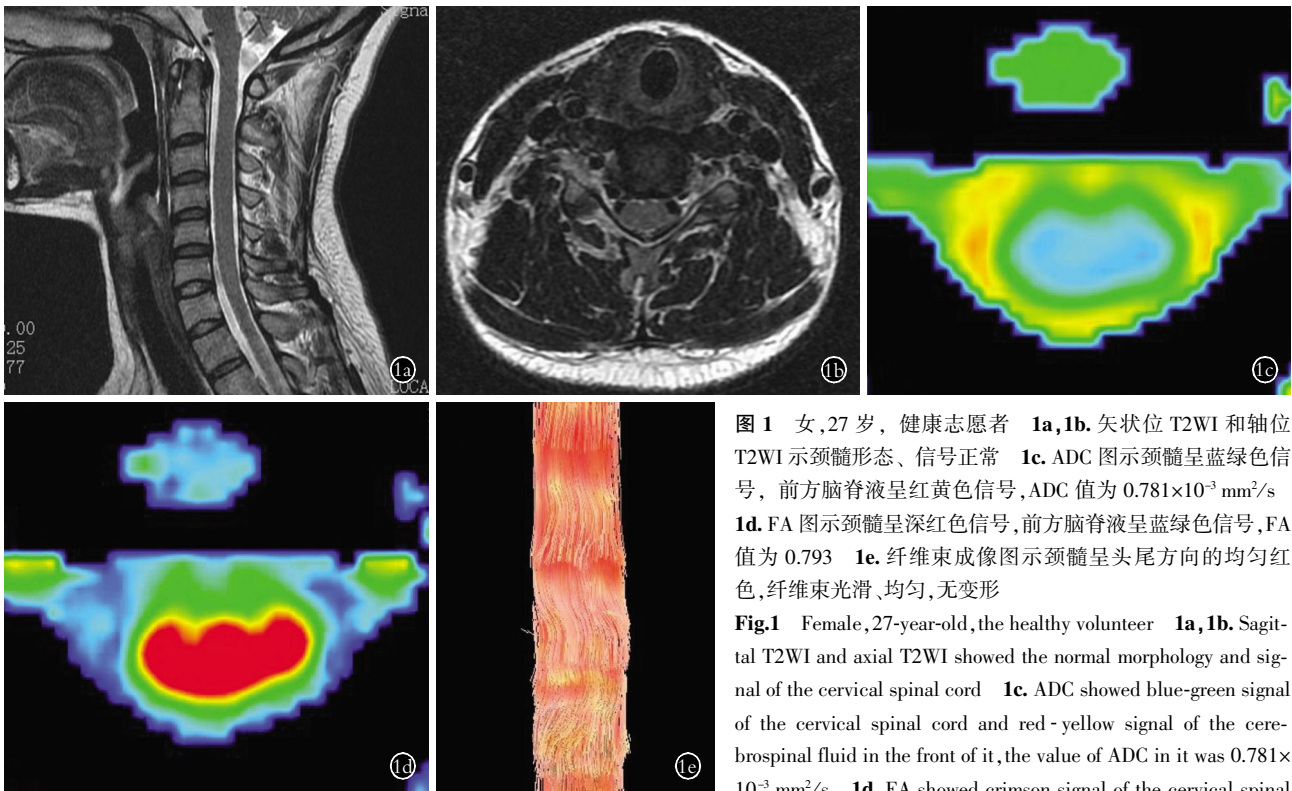


图 1 女,27 岁,健康志愿者 1a,1b.矢状位 T2WI 和轴位 T2WI 示颈髓形态、信号正常 1c. ADC 图示颈髓呈蓝绿色信号,前方脑脊液呈红黄色信号,ADC 值为 $0.781 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 1d. FA 图示颈髓呈深红色信号,前方脑脊液呈蓝绿色信号,FA 值为 0.793 1e. 纤维束成像图示颈髓呈头尾方向的均匀红色,纤维束光滑、均匀,无变形

Fig.1 Female, 27-year-old, the healthy volunteer 1a, 1b. Sagittal T2WI and axial T2WI showed the normal morphology and signal of the cervical spinal cord 1c. ADC showed blue-green signal of the cervical spinal cord and red - yellow signal of the cerebrospinal fluid in the front of it, the value of ADC in it was $0.781 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 1d. FA showed crimson signal of the cervical spinal

cord and blue-green signal of the cerebrospinal fluid in the front of it, the value of FA in it was 0.793 1e. Fiber tractography showed the cervical spinal cord was evenly red craniocaudal direction, the fiber bundle was smooth, uniform, no deformation

颈髓形态、信号无异常,前方脑脊液的红黄色信号变窄;B 组颈髓变扁,主要呈绿色信号,前方脑脊液的红黄色信号消失;C 组颈髓明显变扁,呈黄绿色或红黄色信号,与周围脑脊液信号分界不清。FA 图上, A 组颈髓形态、信号无异常,前方脑脊液的蓝绿色信号变窄;B 组颈髓变扁,信号变浅,呈浅红色或红黄色信号,前方脑脊液的蓝绿色信号消失;C 组颈髓明显变扁,呈红黄色或淡黄色信号,与周围脑脊液信号分界不清。纤维束成像图示,A 组颈髓纤维束光滑、均匀,无变形;B、C 组受累部位纤维束见弧形压迹、边缘毛糙,部分受压明显可见纤维束中断征象(见图 2)。

2.2.2 DTI 参数值 脊髓型颈椎病 A、B、C 组病变部位 ADC、FA 值见表 2。对照组与 CSM 组比较,对照组与 A 组间 ADC、FA 值的差异无统计学意义,与 B、C 组间 ADC、FA 值的差异均有统计学意义;A、B、C 组间两两比较,ADC、FA 值的差异均有统计学意义。ADC 值在 A、B、C 组间呈递增趋势,FA 值呈递减趋势。

3 讨论

3.1 DTI 在脊髓型颈椎病的应用研究背景

脊髓型颈椎病是颈椎病中较重的一型,主要发生于中老年人,但是近年来,随着计算机的普及和单一姿势工作人员的增加,颈椎病表现出年轻化的趋

表 2 脊髓型颈椎病各组颈髓平均 ADC 和 FA 值比较
Tab.2 Comparison of average values of ADC and FA of cervical spine cord among 4 groups

组别	例数	ADC 值($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值
对照组	20	$0.875 \pm 0.096^*$	$0.720 \pm 0.051^*$
A 组	17	0.872 ± 0.145	0.664 ± 0.077
B 组	23	1.297 ± 0.227	0.534 ± 0.094
C 组	10	1.491 ± 0.231	0.364 ± 0.031
F 值	-	44.660	64.154
P 值	-	0.000	0.000

注: *与 A 组比较,差异无统计学意义; *与 B、C 组比较,差异有统计学意义; A、B、C 组间比较,差异有统计学意义

Note: *Compared with group A, there was no significant difference; *compared with group B, C, there was significant difference; comparison among group A, B, C, there was significant difference

势,且大部分患者具有进行性加重的特点。MRI 是检测脊髓病变范围和程度的最佳影像学方法,但常规 MRI 不能及时准确地评估脊髓的损伤程度,有关脊髓的功能评价和疗效验证主要依靠临床主观评价,缺乏客观的影像学标准^[5]。

DTI 成像是在 DWI 基础上发展而来,在 6~55 个非线性方向上施加梯度场而获取图像,较 DWI 可更

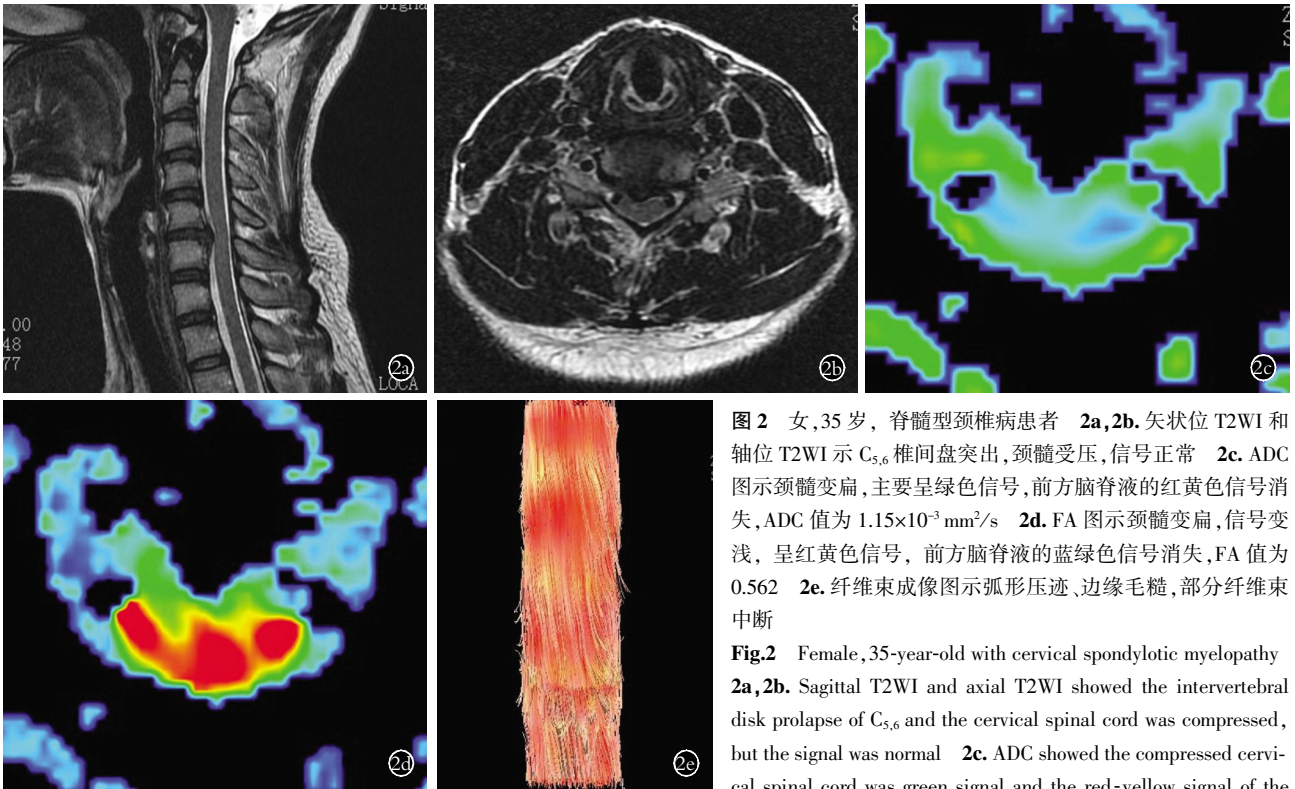


图 2 女, 35 岁, 脊髓型颈椎病患者 2a, 2b. 矢状位 T2WI 和轴位 T2WI 示 C_{5,6} 椎间盘突出, 颈髓受压, 信号正常 2c. ADC 图示颈髓变扁, 主要呈绿色信号, 前方脑脊液的红黄色信号消失, ADC 值为 $1.15 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 2d. FA 图示颈髓变扁, 信号变浅, 呈红黄色信号, 前方脑脊液的蓝绿色信号消失, FA 值为 0.562 2e. 纤维束成像图示弧形压迹、边缘毛糙, 部分纤维束中断

Fig. 2 Female, 35-year-old with cervical spondylotic myelopathy 2a, 2b. Sagittal T2WI and axial T2WI showed the intervertebral disk prolapse of C_{5,6} and the cervical spinal cord was compressed, but the signal was normal 2c. ADC showed the compressed cervical spinal cord was green signal and the red-yellow signal of the

cerebrospinal fluid in the front of it was disappeared, the value of ADC in it was $1.15 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 2d. FA showed the compressed cervical spinal cord was red-yellow signal and the blue-green signal of the cerebrospinal fluid in the front of it was disappeared, the value of FA in it was 0.562 2e. Fiber tractography showed the fiber bundle was arc-shaped impression, rough edge and part of it was interrupted

准确地反映组织内部水分子的扩散情况。颈髓的 DTI 成像, 敏感地反映脊髓中水分子扩散各向同性及各向异性的改变, 从而提供活体脊髓的细微病理生理结构变化信息, 反映脊髓束的功能完整性, 理论上认为 DTI 测量所得的 ADC 值和 FA 值能反映脊髓损伤程度和修复期轴突再髓鞘化过程^[6]。

3.2 DTI 对脊髓型颈椎病的应用价值

目前正常颈髓的 ADC 值和 FA 值报道不一^[7-9], 还没有统一标准, 本组资料的测量结果显示, 正常成年人颈髓的平均 ADC 值 $(0.875 \pm 0.096) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$, 平均 FA 值为 0.720 ± 0.051 , 各椎间盘层面的颈髓 ADC、FA 值差异无统计学意义, 与孟祥水等^[9]研究结果相似。由于本研究的患者组平均年龄偏大, 为保证研究对象基线资料的均衡性, 避免年龄对研究结果干扰, 故在对照组中剔除了部分年轻对象的数据, 增加了较年长对象的数据, 但发现对照组最后的数据结果保持大致相同, 是否能说明不同年龄在正常颈髓的 ADC、FA 值的差异无统计学意义, 但不能排除样本量少, 存在选择偏倚的可能, 有待于下一步研究。本研究中, A 组和 B 组患者 T2WI 显示受压颈髓均无信号改变, DTI 成像结果显示 A 组的 ADC 值和 FA 值与对照组差异无统计学意义, 提示单纯硬膜囊

受压层面颈髓神经细胞膜及髓鞘结果保持完整, 微结构没有破坏, 水分子扩散仍保持正常, 而 B 组的受压颈髓 ADC 图和 FA 图显示其扩散色彩已经发生变化, ADC 值和 FA 值与对照组差异均有统计学意义, 说明其水分子扩散能力及各向异性发生改变, ADC 值和 FA 值反映颈髓受压损伤较常规 T2WI 敏感性高, 即 DTI 能反映早期脊髓微结构的变化, 为临床诊断治疗赢得了时机; 通过 A、B、C 组间 DTI 参数值比较, 可以看出受压颈髓的 ADC 值升高, FA 值降低, 并随着颈髓受压程度的加重, 其 ADC 值有升高趋势, FA 值有降低趋势, 反映了颈髓长期受压造成脊髓慢性缺血, 细胞膜通透性增加, 继而细胞膜和髓鞘破坏, 细胞内水外流造成血管源性水肿, 细胞外间隙增大, 纤维数目减少, 并随着病变的加重, 血管源性水肿更加明显, 蛛网膜下腔的脑脊液运动异常, 迫使部分脑脊液流入脊髓中央管, 水分子扩散能力逐渐增强, 各向异性亦相应减弱, 导致 ADC 值升高, FA 值降低。因此, 笔者认为 ADC 值和 FA 值大小变化能反映脊髓损伤的严重程度, 并且该参数值为可量化测量的数据, 对脊髓慢性损伤的诊断更为精确, 为治疗方案提供及时准确的客观指征^[10], 还可以动态随访观察评估治疗效果及预后, 对脊髓传导障碍的

程度和脊髓传导功能恢复进行客观评价^[11],但本研究尚未进行 DTI 参数值改变与临床症状的相关性研究,而以往报道 ADC 值和 FA 值的改变和临床表现密切相关。袁道等^[12]认为当 FA 值低于 0.69 时,患者已有较轻微的临床症状,表明脊髓存在潜在损伤。但本组研究中对照组有不少颈髓的 FA 值低于 0.69,可能与所用的仪器设备、成像参数不同有关,均有待于下一步研究。

神经纤维束图清晰、直观、立体、无创地显示了 CSM 各组颈髓纤维束受压损伤情况,表现为不同程度的弧形压迹、变形、移位、纤维稀疏,部分可见纤维束中断征象。与 DTI 联合应用,有助于脊髓压迫病变的精确定位。

综上所述,DTI 技术对 CSM 的诊断较常规 MRI 检查更早、更精确,可以定量评估脊髓损伤程度,对于临床诊断、治疗方案与效果评估及预后具有重要的临床实用价值。

参考文献

[1] Miyajiri F, Furlan JC, Aarabi B, et al. Acute cervical traumatic spinal cord injury: MR imaging findings correlated with neurologic outcome—prospective study with 100 consecutive patients[J]. Radiology, 2007, 243(3): 820–827.

[2] Reich DS, Ozturk A, Calabresi PA, et al. Automated vs. conventional tractography in multiple sclerosis: variability and correlation with disability[J]. Neuroimage, 2010, 49(4): 3047–3056.

[3] 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.

[4] 第 2 届颈椎病专题座谈会纪要[J]. 中华外科杂志, 1993, 31(8): 472–476.

The summary of the second occasion special subject symposium of cervical syndrome[J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 1993, 31(8): 472–476. Chinese.

[5] Samdani AF, Fayssoux RS, Asghar J, et al. Chronic spinal cord injury in the pediatric population: does magnetic resonance imaging correlate with the international standards for neurological classification of spinal cord injury examination[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(1): 74–81.

[6] Kamble RB, Venkataramana NK, Naik AL, et al. Diffusion tensor imaging in spinal cord injury[J]. Indian J Radiol Imaging, 2011, 21(3): 221–224.

[7] 武乐斌, 朱向玉, 王光彬, 等. 磁共振扩散张量成像对脊髓型颈椎脊髓慢性损伤的评价[J]. 磁共振成像, 2010, 1(3): 188–193.

Wu LB, Zhu XY, Wang GB, et al. Diffusion tensor MR imaging of cervical spinal cord: cervical spondylosis-related changes[J]. Ci Gong Zhen Cheng Xiang, 2010, 1(3): 188–193. Chinese.

[8] Chang Y, Jung TD, Yoo DS, et al. Diffusion tensor imaging and fiber tractography of patients with cervical spinal cord injury[J]. J Neurotrauma, 2010, 27(11): 2033–2040.

[9] 孟祥水, 崔谊, 柴相君, 等. 3.0T MR 扩散张量成像在颈椎病诊断中的应用[J]. 中华放射学杂志, 2007, 41(12): 1314–1319.

Meng XS, Cui Y, Chai XJ, et al. The application of diffusion tensor imaging in cervical spondylosis with 3.0T MR[J]. Zhonghua Fang She Xue Za Zhi, 2007, 41(12): 1314–1319. Chinese.

[10] Petersen JA, Wilm BJ, von Meyenburg J, et al. Chronic cervical spinal cord injury: DTI correlates with clinical and electrophysiological measures[J]. J Neurotrauma, 2012, 29(8): 1556–1566.

[11] Jones JG, Cen SY, Lebel RM, et al. Diffusion tensor imaging correlates with the clinical assessment of disease severity in cervical spondylotic myelopathy and predicts outcome following surgery[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34(2): 471–478.

[12] 袁道, 高思佳, 刘秀香, 等. 脊髓型颈椎病患 3T MR 扩散张量成像测量参数值与临床表现的相关性研究[J]. 中华放射学杂志, 2012, 46(3): 225–229.

Yuan X, Gao SJ, Liu XX, et al. Correlation study between 3T MR DTI measurements and clinical symptoms in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. Zhonghua Fang She Xue Za Zhi, 2012, 46(3): 225–229. Chinese.

(收稿日期:2015-06-23 本文编辑:王宏)

·读者·作者·编者·

本刊关于通讯作者有关事宜的声明

本刊要求集体署名的文章必须明确通讯作者。凡文章内注明通讯作者的稿件,与该稿件相关的一切事宜均与通讯作者联系。如文内未注明通讯作者的文章,按国际惯例,有关稿件的一切事宜均与第一作者联系,特此声明!

《中国骨伤》杂志社