

• 中枢神经影像学 •

基于解剖图谱 DTI 定量评估脊髓型颈椎病的白质纤维束损伤

戎景玉,何来昌,谭永明,姚子文,曹小宏

【摘要】目的:探讨脊髓型颈椎病(CSM)患者慢性颈髓压迫后白质纤维束的微结构变化。**方法:**将 2019 年 7 月—2019 年 12 月在本院经临床及影像确诊的 32 例 CSM 患者(患者组)和年龄、性别相匹配的 13 例健康志愿者(对照组)纳入本研究。所有受试者均行颈髓 3D T₁WI、T₂*WI 和 DTI 扫描。采用脊髓专用后处理软件(SCT)计算脊髓内不同白质纤维束的 FA 值。对照组内比较白质纤维束的不同节段之间以及同一节段不同纤维束之间 FA 值的差异。比较对照组和患者组之间同一节段的相同纤维束之间 FA 值的差异。**结果:**患者组中椎管狭窄程度:轻度 44 节,中度 31 节。对照组:颈髓内部部分白质纤维束的不同节段之间 FA 值的差异有统计学意义($P < 0.05$);C3~C7 水平同一节段的不同纤维束之间 FA 值的差异均有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组相应部位纤维束的 FA 值比较,CSM 患者组显示有显著差异的纤维束:C3 节段-轻度狭窄组的左侧腹外侧网状脊髓束($t = -2.572, P = 0.016$)、左侧皮质脊髓前束($t = -2.592, P = 0.016$)、左侧顶盖脊髓束($t = -2.333, P = 0.028$)、左侧前庭脊髓外束($t = -2.542, P = 0.018$);C5 节段-轻度狭窄组的左侧红核脊髓束($t = -2.251, P = 0.034$)、左侧网状脊髓外束($t = -2.202, P = 0.040$);C6 节段-轻度狭窄组,左侧脊髓橄榄($t = 2.460, P = 0.029$);C4 节段-中度狭窄组的左侧前庭外侧束($t = -2.150, P = 0.043$)、右侧网状脊髓前束($t = -3.170, P = 0.005$)、双侧皮质脊髓前束(左侧 $t = -2.490, P = 0.021$; 右侧 $t = -2.713, P = 0.013$)、双侧网状脊髓外束(左侧: $t = -2.842, P = 0.010$; 右侧: $t = -2.640, P = 0.015$)、左侧顶盖脊髓束($t = -2.618, P = 0.016$)。**结论:**CSM 患者脊髓内纤维束损伤区域主要集中在腹侧的细小纤维束,MRI 可对 CSM 患者的病情评估提供参考。

【关键词】 脊髓型颈椎病; 神经纤维束; 扩散张量成像; 磁共振成像

【中图分类号】R445.2;R681.5 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1000-0313(2021)04-0447-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.04.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Quantitative analysis on the spinal cord fiber tract injury in cervical spondylotic myelopathy using diffusion tensor imaging based on anatomy atlas RONG Jing-yu, HE Lai-chang, TAN Yong-ming, et al. Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang 330008, China

【Abstract】 **Objective:** The purpose of this study was to explore the changes in the microstructure of different white matter fiber tracts in patients with cervical spondylotic myelopathy. **Methods:** 32 clinically diagnosed CSM patients (patient group) and 13 healthy volunteers (control group) with age, and gender matched were collected during July 2019 to December 2019. All patients underwent spinal cord 3D T₁WI, T₂*WI and DTI scan. The degree of spinal stenosis was graded. Fractional anisotropy (FA) values of different white matter fiber tracts were measured based on spinal core toolbox (SCT) software. The FA values of white matter fiber tracts in different segments of healthy control group were analyzed, and the FA values of different fiber tracts in the same segment were analyzed. FA values of the CSM patient group and the control group in the same fiber tract region were compared. **Results:** Among CSM patients: the degree of compression were classified into 44 mild segments (grade 1) and 31 moderate segments (grade 2). Control group: the FA values among different horizontal spinal cord tracts were significantly different ($P < 0.05$). The FA values among different tracts of same hori-

作者单位:330008 南昌,南昌大学第三附属医院影像科(戎景玉,姚子文,曹小宏);330006 南昌,南昌大学第一附属医院影像科(何来昌,谭永明)

作者简介:戎景玉(1987—),男,河北正定人,硕士,主治医师,主要从事骨肌系统影像诊断。

通讯作者:曹小宏,E-mail:653166487@qq.com

基金项目:国家自然基金项目(81460329);江西省自然科学基金项目(2018BAB205063)

zontal spinal cord were significantly different ($P < 0.05$). Comparison of the FA value of each fiber tract between the groups by independent sample t -test: The C3 segment-mild stenosis group, the left ventrolateral reticulospinal tract ($t = -2.572, P = 0.016$), the left ventral corticospinal tract ($t = -2.592, P = 0.016$), the left tectospinal tract ($t = -2.333, P = 0.028$), and the left vestibulospinal tract ($t = -2.542, P = 0.018$). The C5 segment-mild stenosis group, the left rubrospinal tract ($t = -2.251, P = 0.034$), the left lateral reticulospinal tract ($t = -2.202, P = 0.040$). The C6 segment-mild stenosis group, the spino-olivary tract ($t = 2.460, P = 0.029$), The C4 segment-moderate stenosis group, the left lateral vestibulospinal tract ($t = -2.150, P = 0.043$), the right ventral reticulospinal tract ($t = -3.170, P = 0.005$), the bilateral ventral corticospinal tract (left: $t = -2.490, P = 0.021$; right: $t = -2.713, P = 0.013$), the bilateral lateral reticulospinal tract (left: $t = -2.842, P = 0.010$; right: $t = -2.640, P = 0.015$), the left tectospinal tract ($t = -2.618, P = 0.016$). **Conclusion:** CSM patients have the same degree of stenosis, and the injuries in different segments are different. The damaged fiber tracts area is mainly the small fiber tracts concentrated on the ventral side, which provides a certain reference value for the evaluation of the disease.

【Key words】 Cervical spondylotic myelopathy; Nervous fiber tract; Diffusion tensor imaging; Magnetic resonance imaging

颈椎间盘退行性变继发椎间盘突出或膨出、颈椎骨质增生、前后韧带增厚或钙化等各种原因造成颈椎椎管狭窄,导致脊髓压迫和脊髓内结构损伤,出现不同程度的脊髓功能障碍,即称为脊髓型颈椎病(cervical spondylotic myelopathy, CSM)。磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)技术是在扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)的基础上发展起来的一种较新的扩散成像方法,它能够较好地反映白质纤维束微观结构的定量信息。各向异性分数(fractional anisotropy, FA)可反映人体组织微观结构的损害。以往的研究已经显示出DTI在评估CSM患者颈髓微结构变化及预测预后等方面的可行性^[1-3],但以往部分研究中使用的感兴趣区(region of interest, ROI)包括整个脊髓,没有区分白质和灰质,还有部分研究中采用在脊髓受压层面手动勾画ROI的方法来测量DTI定量参数,测量结果的可重复性较差。因此,本研究拟在CSM患者中运用DTI技术及脊髓专用工具包(spinal cord toolbox, SCT)软件来分割脊髓的灰白质及白质纤维束,更精准地测量不同节段脊髓内白质纤维束的FA值,旨在进一步探讨颈髓长期受压后不同白质纤维束的微结构变化。

材料与方法

1. 研究对象

患者组:将2019年7月—2019年12月本院符合条件的32例CSM患者纳入本研究。其中,男9例、女23例,年龄30~69岁,平均(53.06±9.60)岁。纳入标准:①临幊上患者均出现颈髓损害的早期表现,包括颈部不适、僵硬、疼痛,四肢麻木、无力,精细运动差及

Hoffmann征阳性等;②常规MRI示颈椎椎间盘突出,硬膜囊及脊髓受压,受压部位在T₂WI上未显示有高信号。排除标准:①有脑血管疾病史或经证实有小血管缺血性病变等其它中枢神经疾病患者;②>65岁(避免生理性萎缩干扰);③不能配合较长时间磁共振扫描。并对患者临床表现进行日本骨科协会(Japanese Orthopedic Association, JOA)颈椎功能障碍指数(neck disability index, NDI)评分。

对照组:同期将年龄、性别相匹配的13例健康志愿者纳入对照组,所有志愿者均无脊髓压迫症状和异常影像改变,无神经系统相关病史,神经系统检查无明显异常。

所有CSM患者、健康志愿者和(或)家属已被如实告知本研究内容、方法和相关注意事项,并签署知情同意书。本研究课题经南昌大学第一附属医院生物医学伦理委员会批准。

2. 数据采集

使用GE Signa HDxt 3.0T磁共振扫描仪和8通道相控阵头颈联合线圈。①3D T₁WI扫描序列和参数:三维稳态毁损梯度回波采集(3D-spoiled gradient recalled acquisition in steady-state, 3D-SPGR)序列, TE 1.9 ms, 层厚 1.0 mm, 矩阵 320×256, 视野 300 mm×300 mm, 激励次数 1, 总扫描时间约 10 min 19 s;②T₂*WI扫描序列和参数:多回波梯度回波(multiple echo recalled gradient echo, MERGE)序列, TR 400 ms, TE 5 ms, 层厚 5.0 mm, 矩阵 288×192, 视野 200 mm×200 mm, 激励次数 2, 连续扫描 19 层, 总扫描时间约 5 min 14 s;③DTI序列和参数:TE 79.2 ms, TR 7000 ms, 层厚 5.0 mm, 视野 200 mm×

200 mm, 矩阵 96×96 , 激励次数 4, 连续扫描 19 层, b 值 = 600 s/mm², 扩散敏感梯度方向 11(根据预实验, 扩散敏感梯度方向大于 11, DTI 图像质量无相应提高), 总扫描时间约 5 min 43 s。

3. 图像后处理和数据测量

使用脊髓工具箱(Spinal Cord Toolbox 4.0.0-beta.0 版)对图像数据进行图像处理和分析, 主要步骤如下^[4]。①将原始 dicom 格式数据转换成 nii.gz 格式。②3D T₁ WI 图像下脊髓的分割: 扩展式脊髓分割, 如果分割有差错, 通过 fsleyes 软件手动编辑修正。③配准到软件中的 PAM50 模板上(图 1)。C1 和 C2 节段椎管狭窄发生率低, 本研究主要选取 C3~C6 节段的脊髓进行测量。首先, 分节标记脊椎节段(包括相应椎体下的椎间隙层面的脊髓部分, 如 C3 节段脊髓的范围为 C3 椎体水平 + C₃₋₄ 椎间隙水平; 然后, 将脊髓“拉直”, 使其与 PAM50 模板对齐; 最后, 基于 T₂* WI 数据对灰白质进行分割; ④对 DTI 图像进行运动校准; ⑤将模板配准至 DTI 图像上; ⑥测量和计算 DTI 相关参数: 使用最大后验概率图(method map)计算 C3~C6 节段脊髓内各神经纤维束的 FA 值。

3. 统计分析

使用 SPSS 25.0 统计软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示, 使用单因素方差分析比较对照组不同节段(C3、C4、C5、C6)之间以及同一节段不同纤维束之间 FA 值的差异。采用独立样本 t 检验对 CSM 组与对照组之间各节段脊髓内神经纤维束的 FA 值进行组间比较。以 $P < 0.05$ 为差异有统计意义。

结 果

1. 临床资料

32 例 CSM 患者 JOA 平均得分为 14.94, NDI 平均得分为 14.4%。两组被试者的年龄、性别构成的差异均无统计学意义($P > 0.05$), 详见表 1。

表 1 CSM 与对照组临床资料统计结果

指标	CSM 组	对照组	统计量	P 值
性别(男/女)	9/23	4/9	0.031 ^a	1.000
年龄(岁)	53.06±9.60	47.85±12.20	1.520 ^b	0.135

注:^a 为 χ^2 值, ^b 为 t 值。

CSM 患者颈髓压迫情况的 MRI 评估: 单节段受压 7 例; 多节段受压 25 例, 其中 C2~C3 受压 1 例, C3~C4 共 20 例, C4~C5 共 25 例, C5~C6 共 24 例, C6~C7 共 5 例。均为脊髓腹侧正中受压, 未见脊髓变性导致的 T₂ WI 高信号。根据 Kang 等^[5]提出的脊髓受压分级方法, 轻度 44 节段, 中度 31 节段。

2. 白质纤维束 DTI 参数分析

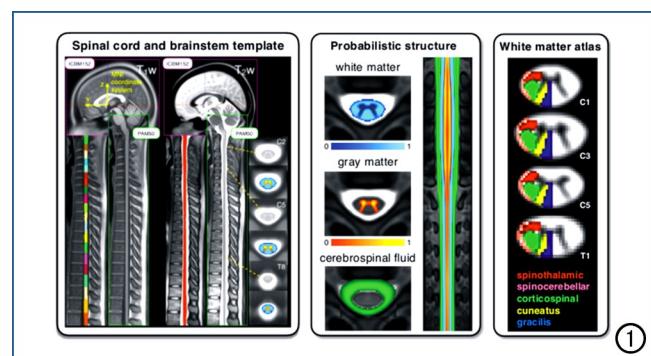


图 1 PAM50 模板由 T₁ WI、T₂ WI、T₂* WI、白质和灰质概率图集及白质纤维束图集组成。

对照组中 C3~C6 节段各神经纤维束的 FA 值及其在不同节段间的比较结果见表 2。正常颈髓白质内小部分纤维束的 FA 值在不同节段之间的差异有统计学意义($P < 0.05$)。C3~C6 节段内同一节段的不同纤维束之间 FA 值的差异均有统计学意义(F 值分别为 6.636、6.208、4.712 和 6.174, P 值均 < 0.001)。

对 CSM 患者组与对照组之间 C3~C6 节段的各神经纤维束的 FA 值进行比较, 差异有统计学意义的结果见表 3~6。轻度受压组与对照组比较, FA 值减低的有 C3 节段的左侧腹外侧网状脊髓束、左侧皮质脊髓前束、左侧顶盖脊髓束、左侧前庭脊髓外束, C5 节段的左侧红核脊髓束、左侧网状脊髓外束, 以及 C6 节段的左侧脊髓橄榄束; 中度受压组与对照组比较, FA 值明显减低的为 C4 节段的左侧前庭外侧束、右侧网状脊髓前束、左侧皮质脊髓前束、右侧皮质脊髓前束、左侧网状脊髓外束、右侧网状脊髓外束和左侧顶盖脊髓束(图 2)。

讨 论

基于像素的概率图和均值脊髓图像模板提供了对脊髓和椎管形态真实而具有稳定性的描述。Taso 等^[6]研究显示脊髓模板在灰质和白质概率图集上的数值分别为 90% 和 100%。基于图集模板的研究, 可自动化分割脊髓的灰、白质, 图集配准后自动测量不同纤维束的指标数值, 在脊髓微结构研究中具有一定优势。脊髓细微结构比较复杂, 脊髓中除了上下走行的纤维束, 还有一些非纵行的神经纤维。特定的部分纤维束解剖难以分开, 它们混合存在, 如脊髓网状纤维与脊髓丘脑束的纤维是交织在一起的。

本组研究结果表明部分颈髓纤维束 FA 值不同节段间存在差异, 这与以往其它一些学者的研究相似^[7~9]。其原因可能为颈髓下段较上段纤维束稀疏, 轴突外间隙较大, 间隙内结构扩散状态使 FA 值降低。另外, 最近的研究中采用 3D 电子显微镜进行观察, 结

表2 对照组中C3~C6节段各纤维束的FA值及比较

纤维束	C3节段	C4节段	C5节段	C6节段	F值	P值
左侧薄束	0.737±0.048	0.749±0.058	0.719±0.053	0.708±0.054	1.521	0.221
右侧薄束	0.726±0.048	0.743±0.072	0.710±0.058	0.692±0.065	1.598	0.204
左腹外侧网状脊髓束	0.803±0.066	0.780±0.118	0.721±0.113	0.713±0.110	2.365	0.083
右腹外侧网状脊髓束	0.803±0.114	0.791±0.115	0.743±0.092	0.731±0.105	1.419	0.249
左侧楔束	0.708±0.061	0.708±0.052	0.664±0.060	0.644±0.090	3.007	0.039
右侧楔束	0.699±0.059	0.711±0.081	0.670±0.046	0.632±0.080	3.435	0.024
左侧前庭脊髓外侧束	0.690±0.114	0.686±0.129	0.596±0.134	0.575±0.108	3.132	0.034
右侧前庭脊髓外侧束	0.702±0.122	0.664±0.116	0.612±0.106	0.585±0.156	2.206	0.100
左侧皮质脊髓侧束	0.675±0.091	0.713±0.079	0.664±0.076	0.652±0.080	1.336	0.274
右侧皮质脊髓侧束	0.686±0.089	0.713±0.075	0.678±0.064	0.646±0.078	1.668	0.186
左侧腹侧网状脊髓束	0.648±0.143	0.620±0.121	0.557±0.148	0.490±0.133	3.446	0.024
右侧腹侧网状脊髓束	0.658±0.149	0.637±0.115	0.576±0.099	0.498±0.131	4.321	0.009
左侧脊髓小脑束	0.521±0.117	0.546±0.095	0.543±0.065	0.591±0.106	1.181	0.327
右侧脊髓小脑束	0.499±0.073	0.522±0.102	0.580±0.090	0.583±0.104	2.711	0.055
左侧皮质脊髓前束	0.672±0.119	0.626±0.093	0.584±0.084	0.555±0.114	3.512	0.033
右侧皮质脊髓前束	0.658±0.130	0.620±0.075	0.584±0.086	0.547±0.129	2.533	0.068
左侧红核脊髓束	0.723±0.099	0.723±0.059	0.701±0.056	0.691±0.054	0.727	0.541
右侧红核脊髓束	0.685±0.090	0.705±0.070	0.672±0.070	0.662±0.100	0.636	0.596
左侧顶盖脊髓束	0.718±0.125	0.684±0.095	0.655±0.119	0.635±0.122	1.259	0.299
右侧顶盖脊髓束	0.721±0.122	0.660±0.095	0.654±0.088	0.643±0.121	1.379	0.261
左侧网状脊髓外束	0.741±0.051	0.691±0.040	0.669±0.030	0.644±0.042	12.925	<0.001
右侧网状脊髓外束	0.746±0.070	0.711±0.053	0.655±0.040	0.646±0.047	10.022	<0.001
左侧网状脊髓内束	0.662±0.086	0.680±0.114	0.668±0.118	0.682±0.074	0.116	0.951
右侧网状脊髓内束	0.662±0.099	0.666±0.107	0.665±0.106	0.690±0.068	0.228	0.876
左侧脊髓丘脑束	0.785±0.048	0.757±0.057	0.695±0.062	0.731±0.085	4.567	0.007
右侧脊髓丘脑束	0.777±0.071	0.742±0.091	0.706±0.073	0.728±0.088	1.728	0.174
左侧内侧纵束	0.643±0.096	0.679±0.093	0.675±0.092	0.687±0.067	0.642	0.592
右侧内侧纵束	0.642±0.097	0.676±0.089	0.678±0.096	0.690±0.065	0.716	0.547
左侧脊髓橄榄束	0.633±0.111	0.589±0.103	0.572±0.143	0.568±0.109	0.848	0.475
右侧脊髓橄榄束	0.664±0.087	0.635±0.073	0.602±0.103	0.578±0.105	2.093	0.114

表3 轻度受压组与对照组C3节段白质纤维束FA值的比较

纤维束	患者组(14例)	对照组(13例)	t值	P值
左腹外侧网状脊髓束	0.712±0.111	0.803±0.066	-2.572	0.016
左侧皮质脊髓前束	0.567±0.090	0.672±0.119	-2.592	0.016
左侧顶盖脊髓束	0.623±0.083	0.718±0.125	-2.333	0.028
左侧前庭脊髓外束	0.593±0.083	0.690±0.114	-2.542	0.018

表4 轻度受压组与对照组C5节段白质纤维束FA值的比较

纤维束	患者组(13例)	对照组(13例)	t值	P值
左侧红核脊髓束	0.659±0.036	0.701±0.056	-2.251	0.034
左侧网状脊髓外束	0.633±0.050	0.669±0.030	-2.202	0.040

表5 轻度受压组与对照组C6节段白质纤维束FA值的比较

纤维束	患者组(2例)	对照组(13例)	t值	P值
左侧脊髓橄榄束	0.764±0.035	0.568±0.109	2.460	0.029

表6 中度受压组与对照组C4节段白质纤维束FA值的比较

纤维束	患者组(10例)	对照组(13例)	t值	P值
左侧前庭脊髓外束	0.585±0.082	0.686±0.129	-2.150	0.043
右侧网状脊髓前束	0.524±0.105	0.620±0.121	-3.170	0.005
左侧皮质脊髓前束	0.538±0.068	0.626±0.093	-2.490	0.021
右侧皮质脊髓前束	0.536±0.072	0.620±0.075	-2.713	0.013
左侧网状脊髓外束	0.638±0.051	0.691±0.040	-2.842	0.010
右侧网状脊髓外束	0.658±0.039	0.711±0.053	-2.640	0.015
左侧顶盖脊髓束	0.585±0.083	0.684±0.095	-2.618	0.016

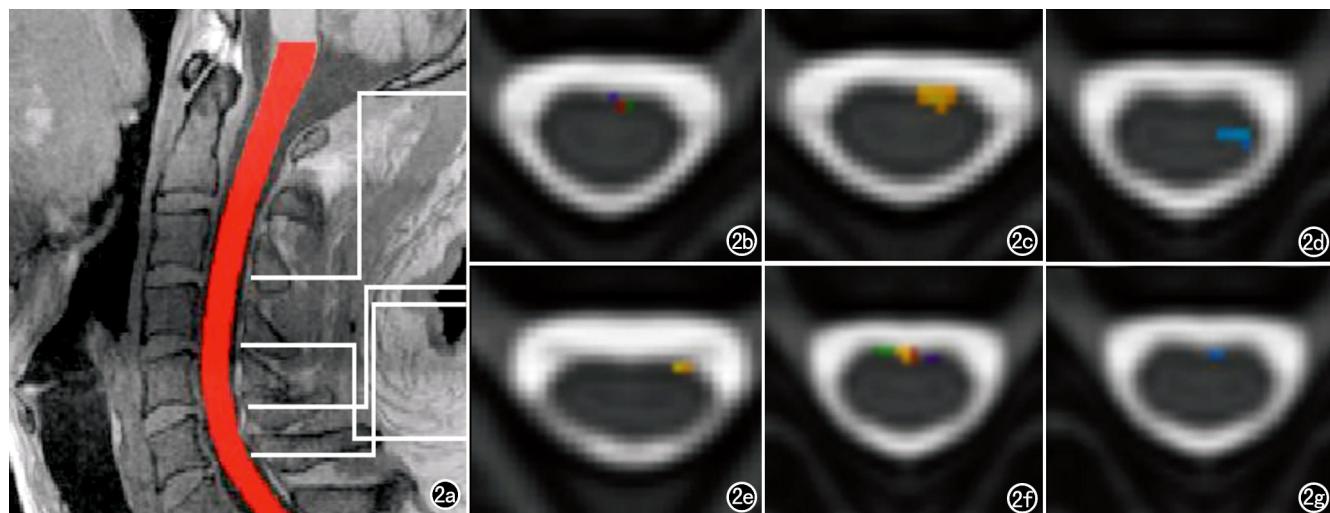


图 2 不同狭窄节段纤维束的标识,在横轴面 T_2 WI 模板图像上(图 b~g)采用伪彩色标示 FA 值降低的区域。a)矢状面 T_1 WI, 颈髓配准图;b)C3 节段,深蓝色区域为左侧皮质脊髓前束,紫色区域为左侧顶盖脊髓束,绿色区域为左腹外侧网状脊髓束;c)C3 节段,黄色区域为左侧前庭脊髓外侧束;d)C5 节段,蓝色区域为左侧红核脊髓束;e)C6 节段,黄色区域为左侧脊髓橄榄束;f)C4 节段,绿色区域为右侧网状脊髓前束,黄色区域为右侧皮质脊髓前束,紫色区域为左侧皮质脊髓前束,深蓝色区域为左侧前庭脊髓外束;g)C4 节段,蓝色区域为左侧顶盖脊髓束。

果表明轴突可能并不是理想的圆柱体形状^[10],这也可能影响上、下节段之间脊髓 FA 值的一致性。总体来说,本研究中脊髓 FA 值的分布特点都可能与不同纤维束的直径、髓鞘结构、纤维周围结构(如星形胶质细胞、小胶质细胞)和血管的分布情况等因素有关。

本组研究结果显示,CSM 患者组与对照组之间部分纤维束的 FA 值差异有统计学意义,主要集中在脊髓腹侧区域,符合多数病例椎间盘突出主要压迫脊髓前部的物理学特点。许多研究结果已表明脊髓压迫是本病的主要病理生理因素^[11-12]。Hopkins 等^[13]发现 CSM 患者部分纤维束体积异常,也主要集中在腹侧,而且患者出现的手无力和上肢反射亢进等临床表现也与位于颈髓前部的下行白质纤维束体积减少有关,腹侧网状脊髓束体积和腹外侧网状脊髓束体积的减少可预测患者的改良 JOA 评分较低,而腹侧网状脊髓束体积的减少可预测患者的 Nurick 评分较高。本研究中绝大多数节段为椎管轻度~中度狭窄, T_2 WI 上局部未见异常信号改变,但亦发现了部分纤维束的 FA 值减低,与以往文献报道的 DTI 在检测颈髓慢性损伤方面较常规 T_2 WI 的敏感度更高的结果基本一致^[14]。

关于脊髓细小纤维束的人体功能研究很少,大部分是非人灵长类动物研究中报道。以往认为网状脊髓束主要在人类皮质脊髓损伤后的恢复中发挥作用,但网状脊髓束也被证明与运动和姿势调整有关^[16-17]。此外在非人类灵长类动物的研究中,网状脊髓束被假设在主要由皮质脊髓束进行的活动协调中发挥作用,如

上肢运动和手指运动^[15,17]。这些纤维束的确切功能及其在 CSM 患者临床症状中的作用仍未得到充分研究,需要今后更进一步的研究。

本研究由于样本量有限,测量数据可能会受到样本偏差的影响。此外,多数患者的颈髓呈多节段受压表现,本研究中未充分评估多节段损伤间的相互影响。而且,在脊髓图像的采集技术方面仍需要进一步优化成像序列和参数,脊髓 MRI 定量研究尚需要进一步验证。但基于脊髓专用工具包的脊髓细微结构 MRI 研究在颈髓病变的评估方面具有明显优势。

综上所述,CSM 患者椎管程度狭窄及节段不同则脊髓的损伤情况存在差异,受损的纤维束主要集中在脊髓腹侧区域,如腹外侧网状脊髓束、皮质脊髓前束、顶盖脊髓束、前庭脊髓外束、红核脊髓束、网状脊髓外束、脊髓橄榄束和网状脊髓前束等。磁共振 DWI 检查对 CSM 患者的病情评估、疗效预判可提供一定的参考价值。总之,基于脊髓白质解剖图谱的 DTI 能定量评估神经纤维束的微观结构改变,有重要的临床价值和广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 蒋雯,韩晓,李广祺,等.脊髓型颈椎病颈髓与手术效果间关系的 DTI 研究[J].放射学实践,2018,33(9):893-897.
- [2] Nukala M, Abraham J, Khandige G, et al. Efficacy of diffusion tensor imaging in identification of degenerative cervical spondylotic myelopathy[J/OL]. Eur J Radiol Open, 2019, 6:e16-e23. DOI: 10.1016/j.ejro.2018.08.006.
- [3] Shabani S, Kaushal M, Budde M, et al. Comparison between quan-

- titative measurements of diffusion tensor imaging and T₂ signal intensity in a large series of cervical spondylotic myelopathy patients for assessment of disease severity and prognostication of recovery[J/OL]. J Neurosurg Spine, 2019; e1-e7. DOI: 10.3171/2019.3.SPINE181328.
- [4] de Leener B, Lévy S, Dupont SM, et al. SCT: spinal cord toolbox, an open-source software for processing spinal cord MRI data[J]. Neuroimage, 2017, 145(Pt A): 24-43.
- [5] Kang Y, Lee JW, Koh YH, et al. New MRI grading system for the cervical canal stenosis[J]. AJR, 2011, 197(1): 134-140.
- [6] Taso M, Le Troter A, Sdika M, et al. Construction of an in vivo human spinal cord atlas based on high-resolution MR images at cervical and thoracic levels: preliminary results[J]. MAGMA, 2014, 27(3): 257-267.
- [7] 张超, 穆学涛, 李晓雪, 等. 正常成年人颈髓扩散张量成像[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2016, 11(1): 51-54.
- [8] Song T, Chen WJ, Yang B, et al. Diffusion tensor imaging in the cervical spinal cord[J]. Eur Spine J, 2011, 20(3): 422-428. DOI: 10.1007/s00586-010-1587-3.
- [9] 周小倩, 王琳, 马戈, 等. 中青年正常颈髓 3.0T MRI 扩散张量成像的定量研究[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(1): 1-5.
- [10] Lee HH, Yaros K, Veraart J, et al. Along-axon diameter variation and axonal orientation dispersion revealed with 3D electron microscopy: implications for quantifying brain white matter micro-structure with histology and diffusion MRI[J]. Brain Struct Funct, 2019, 224(4): 1469-1488.
- [11] Ames CP, Blondel B, Scheer JK, et al. Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy[J]. Spine, 2013, 38(Supple): S149-S160.
- [12] Zhang JT, Wang LF, Wang S, et al. Risk factors for poor outcome of surgery for cervical spondylotic myelopathy[J]. Spinal Cord, 2016, 54(12): 1127-1131.
- [13] Hopkins BS, Weber KA, Clooney MB, et al. Tract-specific volume loss on 3T MRI in patients with cervical spondylotic myelopathy[J/OL]. Spine, 2018, 43 (20): e1204-e1209. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002667.
- [14] 宋清伟, 郎志谨, 郑文衡, 等. 磁共振扩散张量成像在颈髓病变中的应用[J]. 放射学实践, 2010, 25(8): 834-838.
- [15] Baker SN. The primate reticulospinal tract, hand function and functional recovery[J]. J Physiol, 2011, 589(23): 5603-5612.
- [16] Matsuyama K, Drew T. Vestibulospinal and reticulospinal neuronal activity during locomotion in the intact cat. I. Walking on a level surface[J]. J Neurophysiol, 2000, 84(5): 2237-2256.
- [17] Buford JA, Davidson AG. Movement-related and preparatory activity in the reticulospinal system of the monkey[J]. Exp Brain Res, 2004, 159(3): 284-300.

(收稿日期:2020-07-19 修回日期:2020-12-05)

《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目,该栏目以临幊上少见或容易误诊的病例为素材,杂志在刊载答案的同时配发专家点评,以帮助影像医生更好地理解相关影像知识,提高诊断水平。栏目开办 13 年来受到广大读者欢迎。《请您诊断》栏目荣获第八届湖北精品医学期刊“特色栏目奖”。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿,并积极参与《请您诊断》有奖活动,稿件一经采用稿酬从优。

《请您诊断》来稿格式要求:①来稿分两部分刊出,第一部分为病例资料和图片;第二部分为全文,即病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等);②来稿应提供详细的病例资料,包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料;③来稿应提供具有典型性、代表性的图片,包括横向图片(X 线、CT 或 MRI 等不同检查方法得到的影像资料,或某一检查方法的详细图片,如 CT 平扫和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料,最好附上病理图片),每帧图片均需详细的图片说明,包括扫描参数、序列、征象等,病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页,第二部分请参见 2 个月后的杂志最后一页,如第一部分问题在 1 期杂志正文首页,第二部分答案则在 3 期杂志正文末页)

栏目主持:石鹤 联系电话:027-69378385 15926283035