

论著

Value of Diffusion Tensor Imaging in the Diagnosis and Prognosis Evaluation of Cervical Spinal Cord Injury*

XIE Qiang^{1,*}, ZHANG Hui²

1. Department of neurosurgery, Zhuhai Hospital, Guangdong Provincial People's Hospital (Zhuhai Jinwan Central Hospital), Zhuhai 519000, Guangdong Province, China

2. Department of internal medicine 1, Zhuhai Hospital, Guangdong Provincial People's Hospital, Zhuhai Jinwan Central Hospital, Zhuhai 519000, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of diffusion tensor imaging (DTI) in the diagnosis and prognosis evaluation of cervical spinal cord injury (SCI). **Methods** A total of 38 patients with cervical SCI were enrolled as study group between January 2020 and March 2022, while 38 healthy controls with matched gender and age during the same period were enrolled as control group. Both groups underwent routine MRI and DTI examinations. And their application value in the diagnosis and prognosis evaluation of cervical SCI was analyzed. **Results** Before treatment, apparent diffusion coefficient (ADC) values at lesion sites in study group were greater than those in control group and those after treatment, while fractional anisotropy (FA) was lower than that in control group and that after treatment ($F=21.619$; $F=33.379$, $P<0.05$). After treatment, scores of ASIA sensory and motor in study group were increased ($t=4.717$; $t=2.637$, $P<0.05$). ADC values in grade A-B group were lower than those in grade C-D group, while FA value, scores of ASIA upper limb sensory and motor were higher than those in grade C-D group ($t=2.443$; $t=5.294$; $t=5.337$; $t=5.540$, $P<0.05$). FA value was positively correlated with scores of ASIA sensory and motor ($r=0.423$; $r=0.475$, $P<0.05$). ADC values at lesion sites in improvement group were greater than those in non-improvement group, while FA value was lower than that in non-improvement group ($t=3.542$; $t=3.620$, $P<0.05$). ROC curves analysis showed that AUC of ADC combined with FA for predicting prognosis was 0.911, greater than that of ADC and FA alone (0.790, 0.749) ($Z=1.993$; $Z=2.182$, $P<0.05$). **Conclusion** DTI can display cervical SCI early and can be applied in prognosis evaluation.

Keywords: Cervical Spinal Cord Injury; Diffusion Tensor Imaging; Prognosis

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种毁灭性的疾病，临床主要表现为瘫痪、麻木或大小便失禁。据统计，2016年全球有93万脊髓损伤新发病例，总患病率高达2704万，且男性脊髓损伤的发病率高于女性。颈髓损伤是SCI最常见的损伤，占55%~75%^[1]。常规MRI在很大程度上依赖于信号强度的变化来描述病理变化，无法准确及时的反应损伤情况^[2-3]。此外，既往研究对于MRI表现与神经损伤程度之间的关系是矛盾的^[4]。因此，早期诊断和评估颈髓损伤对早期准确的治疗方案，提高患者治疗效果具有重要作用。磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是在常规磁共振的基础上发展起来的一种技术，其可反映水分子弥散运动的各异性，立体、直观的显示纤维束的走形变化^[5]。研究显示，DTI可通过显示颈髓损伤患者细微结构变化，量化和评估其损伤的严重性，具有较高的敏感度^[6-7]。基于此，本研究通过探究颈髓损伤患者DTI指标与患者神经功能状态的相关性，并分析其对评估预后的作用，为脊髓损伤的早期治疗干预以获得最佳临床结果提供有效的临床证据，现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2020年1月至2022年3月收治的38例颈髓损伤患者作为研究组，纳入标准：符合颈髓损伤诊断标准^[8]，并经过X线、CT、MRI检查确诊；患者知情并签署同意书；72h内有明确的外伤史；外伤72h内符合ASIA运动评分标准；年龄>18岁。排除标准：有既往脊髓病史，如多发性硬化、脊髓肿瘤等；既往颈椎手术或放射治疗史；有MRI检查禁忌症；合并感染性疾病；合并严重心、肺、肾功能疾病；合并其它神经系统疾病；意识障碍或精神疾病；处于妊娠期或哺乳期。同期招募性别、年龄相匹配的健康体检者38例作为对照组，排除标准：年龄<18岁；MRI检查禁忌症；既往颈椎手术或放射治疗史；既往脊髓病史；意识障碍或精神疾病；处于妊娠期或哺乳期。研究组男20例，女18例；年龄23~62岁，平均(40.59±6.13)岁；脊髓损伤ASIA分级：A级3例，B级18例，C级12例，D级5例。对照组男16例，女22例；年龄25~65岁，平均(41.24±6.67)岁。两组性别、年龄等一般资料比较，差异无统计学意义($P>0.05$)。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查 采用快速自旋回波(FSE)序列对患者行T₁WI增强矢状位或T₂WI加权轴位、冠状位和矢状位扫描。

1.2.2 DTI成像 采用RESOLVE序列，在T₂WI矢状位3D扫描基础上进行tensor序列的扫描。在扫描生成的矢状位图像中选取最清晰同一层面，并手动描绘3个ROI区域，随即可

磁共振弥散张量成像在诊断颈髓损伤及评估预后中的研究*

谢 强^{1,*} 张 惠²

1. 广东省人民医院珠海医院(珠海市金湾中心医院)神经外科(广东 珠海 519000)

2. 广东省人民医院珠海医院(珠海市金湾中心医院)内一科(广东 珠海 519000)

【摘要】目的 探讨磁共振弥散张量成像(DTI)在诊断颈髓损伤及预后评估中的应用价值。**方法** 选取2020年1月至2022年3月收治的38例颈髓损伤患者作为研究组，同期招募性别、年龄相匹配的健康体检者38例作为对照组，两组均行常规MRI和DTI检查，分析二者在颈髓损伤诊断和预后评估中的应用价值。**结果** 研究组治疗前病灶部位ADC值高于对照组和研究组治疗后，FA值低于对照组和研究组治疗后($F=21.619$; $F=33.379$, $P<0.05$)；研究组治疗后ASIA感觉、运动评分高于治疗前($t=4.717$; $t=2.637$, $P<0.05$)；A~B级组ADC值低于C~D级组，FA值、ASIA上肢感觉和运动评分高于C~D级组($t=2.443$; $t=5.294$; $t=5.337$; $t=5.540$, $P<0.05$)；颈髓损伤患者FA值与ASIA感觉评分、ASIA运动评分呈正相关($r=0.423$; $r=0.475$, $P<0.05$)；改善组病灶部位ADC值高于未改善组，FA值低于未改善组($t=3.542$; $t=3.620$, $P<0.05$)；ROC曲线分析显示，ADC、FA联合预测的AUC为0.911高于ADC的0.790、FA的0.749($Z=1.993$; $Z=2.182$, $P<0.05$)。**结论** DTI可早期显示颈髓的损伤，可用于预后评估。

【关键词】 颈髓损伤；磁共振弥散张量成像；预后

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 广东省医学科学技术研究基金
(粤卫科教函〔2021〕8号, B2021120)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.03.018

【第一作者】 谢 强，男，副主任医师，主要研究方向：颅脑创伤。E-mail: xq63200530@163.com

【通讯作者】 谢 强

生成神经纤维束追踪图像。纤维示踪参数：轨道角31°，FA阈值0.20，轨道角超过31°的纤维束将自动舍弃；同时设置追踪后的纤维长度<50 mm的自动舍弃。

1.2.3 图像后处理 采用Syngo.Via软件进行数据采集和影像重建，并由2名影像科主治医师采用盲法完成测量，最终取两者平均值作为测量值。

1.3 观察指标 (1)统计分析对照组、研究组治疗前和治疗3个月病灶部位的表观弥散系数(ADC)、部分各向异性分数(FA)。(2)统计分析研究组治疗前、治疗3个月ASIA感觉和运动评分^[9]。ASIA感觉评分：主要根据上肢左右两侧感觉平面及关键点的轻触觉和针刺痛觉进行评分，包括C2枕骨粗隆、C3锁骨上窝、C4肩锁关节顶部、C5肘窝前外侧、C6拇指、C7中指、C8小指、T1肘前窝内侧，T2腋窝顶部，采用3级(0~2分)评分，总分72分。ASIA运动评分：主要根据上肢左右两侧运动平面及代表肌肉肌力进行评分，包括C5肱二头肌、C6桡侧伸腕肌、C7三头肌、C8食指固有伸肌、T1小指外展肌，采用5级(1~5分)评分，总分50分。(3)统计分析不同ASIA分级ADC值、FA值、ASIA上肢感觉运动评分。(4)统计分析颈髓损伤患者ADC、FA值与ASIA感觉运动评分相关性。(5)根据治疗3个月后ASIA分级改善至少1级将研究组分为改善组和未改善组，统计分析两组患者ADC、FA值。(6)统计分析颈髓损伤患者ADC、FA值对预后的预测价值。

1.4 统计学处理 本研究使用SPSS 20.0软件进行分析处理数据，计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，两组DTI指标、ASIA上肢感觉运动评分比较采用t检验，三组比较采用单因素单因素方差检验，组间两两比较LSD-t检验；采用Pearson相关分析检验相关性，绘制受试者工作曲线(ROC)分析ADC、FA对预后的预测价值。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两组病灶部位ADC、FA值比较 研究组治疗前病灶部位ADC值高于对照组和研究组治疗后，FA值低于对照组和研究组治疗后，差异具有统计学意义($F=21.619$ ； $F=33.379$ ， $P<0.05$)，见表1。

2.2 研究组治疗前后ASIA上肢感觉运动评分比较 研究组治疗后ASIA感觉、运动评分为(57.34±13.52)分、(38.62±10.75)分，高于治疗前(41.52±15.64)分、(32.43±9.69)分，差异具有统计学意义($t=4.717$ ； $t=2.637$ ， $P<0.05$)。

2.3 不同ASIA分级ADC、FA、ASIA上肢感觉运动评分比

较 A~B级组ADC值低于C~D级组，FA值、ASIA上肢感觉和运动评分高于C~D级组，差异具有统计学意义($t=2.443$ ； $t=5.294$ ； $t=5.337$ ； $t=5.540$ ， $P<0.05$)，见表2。

2.4 颈髓损伤患者ADC、FA值与ASIA感觉运动评分相关性 颈髓损伤患者FA值与ASIA感觉评分、ASIA运动评分呈正相关($r=0.423$ ； $r=0.475$ ， $P<0.05$)，见表3。

2.5 不同预后颈髓损伤患者ADC、FA值比较 随访术后3个月研究组的神经功能改善情况，有14例未发生改善。改善组病灶部位ADC值高于未改善组，FA值低于未改善组，差异具有统计学意义($t=3.542$ ； $t=3.620$ ， $P<0.05$)，见表4。

2.6 颈髓损伤患者ADC、FA值对预后的预测价值 根据AUC得到ADC、FA的最佳诊断截点分别为317.62、33.79，ROC曲线分析显示，ADC、FA联合预测的AUC为0.911高于ADC的0.790、FA的0.749，且差异具有统计学意义($Z=1.993$ ； $Z=2.182$ ， $P<0.05$)，见表5，图1。

2.7 典型病例分析 患者男，60岁，诊断为颈3、4、5、6椎体段颈髓损伤，并左侧棘间韧带水肿。矢状面示颈椎生理曲度存在，椎体轻度变扁，边缘毛糙、变尖，信号正常， T_2 WI示多个椎间盘信号减低，C4/5，C5/6椎间盘突出，硬膜囊受压，颈3、4、5、6段脊髓 T_2 WI信号增高。颈3、4、5、6椎体左侧棘间韧带信号增高。黄韧带略增厚。颈髓DTI：颈3、4、5、6椎体段颈髓可见FA值异常区，纤维束走行异常，双侧不对称，纤维束数量下降，部分纤维中断，见图3A~3C。

治疗3个月后，矢状面示颈椎生理曲度存在，4/5椎体呈术后改变，信号异常， T_2 WI示多个椎间盘信号减低，C4/5，C5/6椎间盘突出，硬膜囊受压，颈髓未见明显异常信号。黄韧带略增厚。颈髓DTI：颈髓未见FA值异常区，纤维束走行正常，双侧对称，纤维束数量较前增多，部分纤维中断，见图4A~4C。

表1 两组治疗前ADC、FA值比较

组别	n	时间	ADC($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	FA($\times 10^{-3}$)
对照组	38	-	0.98±0.23 ^{ab}	0.79±0.15 ^{ab}
研究组	38	治疗前	1.42±0.36 ^b	0.52±0.12 ^b
		治疗后	1.21±0.27	0.67±0.16
F			21.619	33.379
P			0.000	0.000

注：与研究组治疗前比较，^a $P<0.05$ ；与研究组治疗后比较，^b $P<0.05$ 。

表2 不同ASIA分级ADC、FA、ASIA上肢感觉运动评分比较

组别	n	ADC($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	FA($\times 10^{-3}$)	ASIA上肢感觉(分)	ASIA上肢运动(分)
A~B级	21	1.35±0.30	0.58±0.10	48.63±13.87	37.08±8.20
C~D级	17	1.51±0.27	0.46±0.09	32.74±12.02	26.69±8.15
t		2.443	5.294	5.337	5.540
P		0.000	0.000	0.000	0.000

表3 颈髓损伤患者ADC、FA值与ASIA感觉、运动评分相关性

指标	ASIA感觉评分		ASIA运动评分	
	r	P	r	P
ADC	-0.168	0.352	-0.102	0.263
FA	0.423	0.005	0.475	0.001

表4 不同预后颈髓损伤患者ADC、FA值比较

组别	n	病灶部位ADC($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	病灶部位FA($\times 10^{-3}$)
改善组	24	1.56±0.25	0.46±0.11
未改善组	14	1.34±0.29	0.56±0.13
t		3.542	3.620
P		0.001	0.001

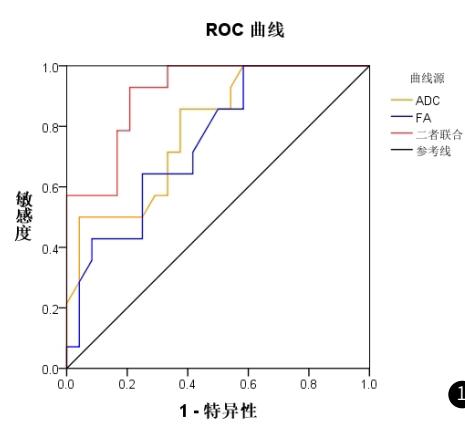


图1 颈髓损伤患者ADC、FA值对预后的预测的ROC曲线。

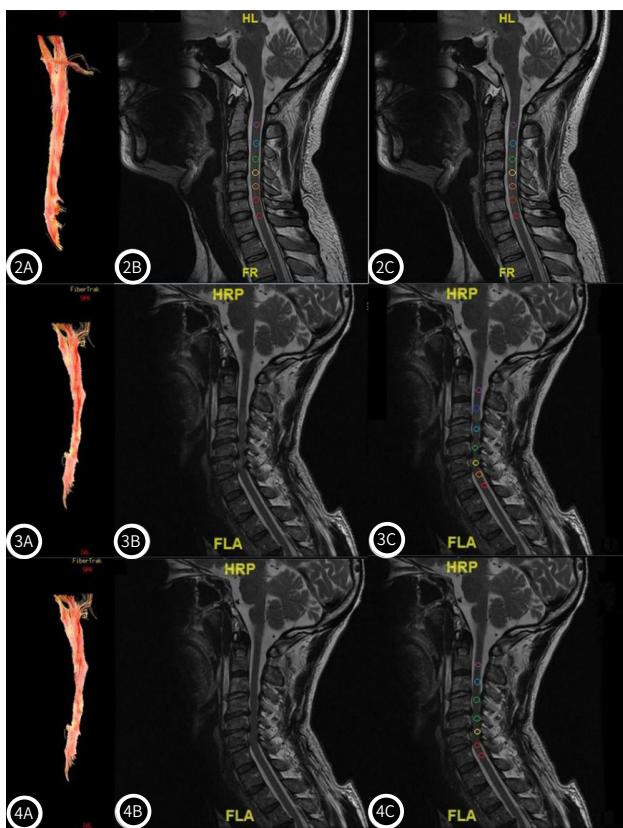


图2 对照组磁共振图 男, 27岁。图2A, 颈髓DTI图; 图2B, 颈椎矢状位T₂WI图; 图2C, 颈椎MRI增强扫描图。**图3** 研究组磁共振图 男, 60岁。图3A, 受伤时颈髓DTI图; 图3B, 受伤时颈椎矢状位T₂WI图; 图3C, 受伤时颈椎MRI增强扫描图; **图4** 图4A, 治疗3个月后颈髓DTI图; 图4B, 治疗3个月后颈椎矢状位T₂WI图; 图4C, 治疗3个月后颈椎MRI增强扫描图。

表5 颈髓损伤患者ADC、FA值对预后的预测价值

指标	截点值	AUC	95%CI
ADC($\times 10^{-3}$ mm 2 /s)	1.53	0.790	0.628~0.905
FA($\times 10^{-3}$)	0.50	0.749	0.582~0.875
二者联合	-	0.911	0.773~0.979

3 讨论

颈髓损伤是一类引起运动功能障碍的神经系统性疾病, 其可给患者带来巨大损伤和负担^[10]。但目前对于脊髓损伤的影像学预测诊断及功能预后的预测仍十分欠缺。因此, 如何有效利用影像学检查诊断脊髓损伤对临床策略治疗有着很好的指导意义。

DTI是在常规磁共振的基础上发展起来的一种技术, 已广泛用于脑梗死、颅脑损伤、脑肿瘤等疾病的诊断和预后评估^[11~13]。DTI可反映大脑白质纤维素的结构和各向异性特征, 有利于临床对颈髓损伤更加精确评估^[14]。颈髓损伤的病理基础为细胞膜和髓鞘被破坏, 导致细胞外水肿、出血和炎症反应, 纤维细胞数量减少, 细胞外空间增大, 进而使水分子扩散增加。本研究中, 研究组治疗前病灶部位ADC值高于对照组和研究组治疗后, FA值低于对照组和研究组治疗后, 提示ADC值可明显反应颈髓损伤患者的损伤情况, 与崔学锋等的研究结果类似^[15]。

ASIA分级是临幊上用于评估脊髓损伤的常用指标, 本研究通过分析不同ASIA分级ADC、FA、ASIA上肢感觉运动评分发现, A~B级组ADC值低于C~D级组, FA值、ASIA上肢感觉和运动评分高于C~D级组, 提示神经损伤与ADC值、FA值、ASIA上肢感觉和运动评分相关。DTI通过追踪水分子中的氢原子的移动方向来显示白质纤维束的空间走形及完整性, 因而DTI指标与ASIA分级有一定的相关性。研究指出。颈髓损伤早期炎症反应会影响细胞毒性水肿, 导致细胞外空间减小, 水分子扩散受限^[16]。

进一步研究显示, 颈髓损伤患者FA值与ASIA感觉评分、ASIA运动评分呈正相关, 提示FA值越低, 颈髓损伤越严重。分析其原因, 可能是因为细胞膜的变性和髓鞘的崩解、脱失使细胞外间隙增大、纤维束减少, 进而导致颈髓水分子扩散增强, FA值降低。急性颈髓损伤常显示颈髓变性, 伴挫裂伤、出血, 其预后普遍较差^[17]。本研究中, 改善组病灶部位ADC值高于未改善组, FA值低于未改善组, 提示ADC、FA对颈髓损伤患者的预后有预测价值。进一步ROC曲线分析显示, ADC、FA联合预测的AUC高于单一指标, 提示ADC、FA对颈髓损伤患者的预后的预测价值较高。

综上所述, DTI可清晰地显示颈髓损伤患者纤维束的变化, 可用于颈髓神经功能预后的评估。

参考文献

- [1] Ter Wengel P V, de Witt Hamer P C, Paupit J C, et al. Early surgical decompression improves neurological outcome after complete traumatic cervical spinal cord injury: a meta-analysis[J]. Journal of Neurotrauma, 2019, 36(6): 835~844.
- [2] 林恒山, 林增如, 李燕燕, 等. 磁共振扩散张量成像序列对脊髓型颈椎病的诊断价值[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(11): 1291~1295.
- [3] 崔学锋, 梁文杰. 磁共振弥散张量成像在无骨折脱位型脊髓损伤早期诊断中的价值[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(12): 1144~1146.
- [4] 杨东奎, 吕国士, 刘伟, 等. MR扩散峰度成像技术在急性颈髓损伤的早期诊断及预后演变中的初步应用[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(3): 469~472.
- [5] 陈斌奎, 汤奕林, 欧阳林, 等. 磁共振弥散张量成像在创伤性脑损伤临床诊断和预后评估的应用价值[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(10): 1765~1769.
- [6] 朱红军, 戴慧, 张大伟, 等. 颈髓损伤后髓髓DTI影像学变化与膀胱收缩指数的关系[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(12): 1455~1459.
- [7] 李尚辉, 李月春, 梁芙蓉. 磁共振扩散张量成像在中枢神经系统疾病中的研究进展[J]. 中国临床实用医学, 2017, 8(1): 100~102.
- [8] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会. 《新鲜下颈段脊柱脊髓损伤评估与治疗》的专家共识[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(4): 378~384.
- [9] 王华东, 史亚民, 侯树勋, 等. 非相邻多节段脊柱骨折的诊断与手术治疗[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2005, 15(2): 91~94.
- [10] 苏日罕, 包亮. 急性重度颈髓损伤患者临床特征及早期死亡的危险因素分析[J]. 颈腰痛杂志, 2021, 42(4): 466~469.
- [11] 黄灿, 孙凌瑜, 任路明, 等. 磁共振弥散张量成像评估老年脑梗死病人运动障碍的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2020, 18(9): 1446~1450.
- [12] 赵爱鹏. 磁共振技术联合弥散张量成像在老年颅脑损伤患者病情评估中的应用[J]. 中华老年医学杂志, 2020, 39(11): 1360~1364.
- [13] 尹麒, 揭平平, 刘勇. 3.0T磁共振扩散张量成像对高级别脑胶质瘤和脑转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(1): 22~25.
- [14] 孙沁怡, 蒋丽琼, 周华, 等. 慢性肾脏病患者的认知障碍与脑白质损伤磁共振弥散张量成像研究[J]. 脑与神经疾病杂志, 2021, 29(10): 614~617.
- [15] 武军, 吴文静, 徐宁. MR弥散张量成像对无骨折脱位的急性颈髓损伤的诊断价值[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(11): 1221~1224.
- [16] 任李良, 王培源. 无骨折脱位型颈髓损伤的MRI诊断与神经功能评价价值[J]. 磁共振成像, 2019, 10(8): 571~577.
- [17] 李茂, 王根林, 朱晨晨, 等. 手术治疗伴有髓内出血水肿的创伤性颈脊髓损伤的疗效及预后预测因素[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(1): 31~36.

(收稿日期: 2022-06-14)

(校对编辑: 朱丹丹)