

论 著

正常颈髓扩散张量成像扩散参数的影响因素和相关性研究

第二军医大学第一附属医院影像科
(上海 200433)

陈士跃

【摘要】目的 探讨在正常成人颈段脊髓磁共振扩散张量成像(DTI)中脊髓节段、轴索及年龄因素对其扩散系数(ADC)值和各向异性分数(FA)值的影响。**方法** 36例健康志愿者按年龄分成3组接受常规颈椎3.0T磁共振成像(MRI)及颈髓DTI检查;根据颈椎体解剖定位,颈髓分为上段(C1/2-C2/3)、中段(C3/4-C4/5)及下段(C5/6-C6/7),各节段应用感兴趣区法测量脊髓中央灰质和白质(前索、侧索、后索)的ADC和FA值。**结果** 正常成人颈髓灰、白质不同节段之间ADC和FA值均存在统计学差异($P < 0.05$),颈髓白质不同轴索之间ADC和FA值存在统计学差异($P < 0.05$),不同年龄组之间的ADC和FA值均存在统计学差异($P < 0.05$)。颈髓白质前索上段ADC与年龄不具有相关性,前索下段的ADC值与年龄正相关,其余颈髓白质及中央灰质的ADC和FA值均与年龄负性相关。**结论** 正常颈髓的扩散能力和扩散各向异性受到年龄、节段和轴索因素的影响,对颈髓疾病的DTI研究应综合考虑上述因素。

【关键词】 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】 R445.2; R744

【文献标识码】 A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2016.01.001

通讯作者:陈士跃

Factors and Association studies of Diffusion Coefficients in Diffusion Tensor Imaging of Normal Cervical Spinal Cord

CHEN Shi-yue. Department of Imaging, the First Affiliated Hospital of the Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

[Abstract] Objective To investigate the effect of spinal segments, axons and age on apparent diffusion coefficient (ADC) and fractional anisotropy (FA) in normal adult cervical spinal cord magnetic resonance diffusion tensor imaging (DTI). **Methods** A total of 36 healthy volunteers were enrolled and divided into 3 groups based on age. All subjects were received 3.0 T magnetic resonance imaging (MRI) for cervical vertebra and DTI for cervical spinal cord. According to intervertebral location, cervical spinal cord was defined as superior (C1/2-C2/3), middle (C3/4-C4/5) and inferior segment (C5/6-C6/7). The region of interest (ROI) method was used to detect ADC and FA values of white matter (WM) and gray matter (GM) in cervical spinal cord. **Results** The values of ADC and FA were significantly different in different segments of WM and GM in healthy cervical spinal cord ($P < 0.05$). The values of ADC and FA were significantly different in different axons of WM ($P < 0.05$). The values of ADC and FA were significantly different between different age groups ($P < 0.05$). The value of ADC in the superior segment of WM front axon was not correlated with age. The value of ADC in the inferior segment of WM front axon was positive correlated with age, and the values of ADC and FA in the rest of regions were negative correlated with age. **Conclusions** The diffusion and anisotropy in healthy cervical spinal cord are influenced by age, segments and axons. The DTI study of cervical spinal cord disease should be considered comprehensively.

[Key words] Magnetic Resonance Imaging; Diffusion Tensor Imaging; Apparent Diffusion Coefficient; Fractional Anisotropy

脊髓的损伤变性常见于颈椎病、多发性硬化、视神经脊髓炎、肌萎缩侧索硬化症和外伤患者。磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)能反映脑脊髓内水分子空间扩散轨迹及水分子活动自由度,通过对体素扩散参数量化分析可以显示脑、脊髓白质内神经纤维束的走行、密度及神经纤维束髓鞘完整性^[1-3],因此,本研究运用DTI技术对不同年龄段正常人的颈髓灰白质分节段进行全面的特征分析,来探讨正常成人颈髓中节段、年龄因素对其扩散系数(ADC)值和各向异性分数(FA)值的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 经医院医学伦理委员会同意,在常规头颅、颈椎MRI排除志愿者罹患颈椎病、脊柱外伤及脑与脊髓神经系统疾病后,在体检人群中招募健康志愿者36例(男22例,女14例,平均年龄51.3岁),受检者被告知DTI检查过程并签署知情同意书。健康志愿者在研究中按每20岁一个年龄段进行分组,共分成3组:青年组,年龄20~40岁;中年组,年龄41~60岁;老年组,年龄61~80岁。

1.2 纳入标准 纳入标准为:(1)临床上无明确神经系统症状或阳性体征;(2)无既往神经系统疾病;(3)颈椎MRI检查未发现异常信号。所有MRI扫描图像由两位资深影像诊断医师进行观察并判断,经两位医师判断正常者作为纳入研究对象。

1.3 磁共振检查 MRI设备采用3.0T超导磁共振成像仪(Signa HDxt, GE Healthcare, USA)上完成,其梯度场强为40mT/m(切换率为150mT/ms⁻¹),MR信号接收采用NV-full 8通道相控阵线圈。DTI检查采用单次激发自旋回波平面回波成像(SS-SE-EPI)序列,弥散加权系数b值设置为0、1000s/mm²,扩散敏感梯度方向设置为15,射频带宽为250kHz,完成DTI扫描时间共需4分24秒。扫描参数见表1。

1.4 DTI图像分析 在独立工作站采用专用软件(Function 6.3.13,美国GE公司)对DTI数据进行后处理,DTI原始数据在处理前还需用Correct程序对进行校正以减少图像变形及伪影。参考T2WI和DTI(b=0)图像,分节段测量不同年龄组颈髓灰白质ADC值和FA值,C1/C2、C2/C3椎间盘层面定义为颈髓上段,C3/C4、C4/C5层面定义为中段,C5/C6、C6/C7层面定义为下段(图1)。

参照Yoo等^[1]研究,手工选择感兴趣区(range of interest, ROI)在轴位DTI(b=0)的图像上提取ADC值和FA值,具体方法为:在白质的前索、侧索、后索以及中央灰质的左右各划取一个面积约4mm²的ROI并记录其ADC、FA值(图2),相同层左右对称部位ROI取值平均后用于统计学分析^[4]。脊髓白质ROI尽量置于内侧以避免脑脊液流动影响。

1.5 统计学分析 采用SPSS18.0对数据进行整理及分析,计量资料采用均值±标准差($\bar{x} \pm s$)形式表示,颈髓白质不同轴索与中央灰质之间、不同年龄组及不同节段之间的参数值差异采用单因素方差分析,并采用Scheffe进行两两之间的比较,不同性别之间的比较采用t检验,ADC和FA值与年龄之间的相关性采

用Spearman相关性分析,检验水准 α (双侧)=0.05。

2 结果

2.1 不同节段颈髓灰、白质的ADC和FA值 所有被检者的DTI图像均可较清晰显示脊髓组织。不同节段颈髓灰、白质的ADC和FA值见表2。正常颈髓中央灰质不同节段之间的ADC值、FA值相比,差异不具有统计学意义($P>0.05$)。正常颈髓白质(前索、侧索与后索)不同节段之间的ADC值相比,除侧索外,均具有统计学意义($P<0.05$),进一步两两比较,除前索、后索的上段与中段外,其余不同节段之间ADC值差异均存在统计学意义($P<0.05$);正常颈髓白质不同节段之间的FA值相比,差异均具有统计学意义($P<0.05$),进一步两两比较,除了前索、后索的中段与下段外,其余不同节段之间FA值差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

正常颈髓灰、白质相同节段(上段、中段与下段)的ADC和FA值比较,不同部位的相同节段的ADC值差异具有统计学意义($F=194.99$; $F=167.5$; $F=104.05$, 均 $P<0.001$),进一步两两比较,前索与侧索在上段和中段的ADC值差异不具有统计学意义($P>0.05$),前索与灰质在下段的ADC值差异不具有统计学意义($P>0.05$),其余不同部位的相同节段ADC值均具有统计学意义($P<0.05$)。不同部位的相同节段的FA值差异具有统计学意义($F=269.21$; $F=109.8$; $F=170.5$, 均 $P<0.001$),进一步两两比较,各部位相同节段之间的FA值差异均具有统计学意义($P<0.05$),见表2。

2.2 不同年龄颈髓灰、白质的ADC和FA值 不同年龄组颈髓

灰、白质的ADC和FA值见表3。结果表明,正常颈髓中央灰质不同年龄组之间的ADC值相比,差异均具有统计学意义($F=8.61$, $P<0.05$),进一步两两比较,各年龄组灰质ADC值差异均具有统计学意义($P<0.05$);正常颈髓中央灰质不同年龄组之间的FA值相比,差异均具有统计学意义($F=23.64$, $P<0.001$),进一步两两比较,除了中年组与老年组外,各年龄组灰质FA值差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

正常颈髓白质(前索、侧索与后索)不同年龄组之间的ADC值相比,均具有统计学意义($F=3.54$; $F=25.69$; $F=23.34$, 均 $P<0.05$),进一步两两比较,老年组与中年组、中年组与老年组的前索部位,中年组和老年组的后索部位,ADC值差异不具有统计学意义($P>0.05$),其余不同年龄组之间ADC值差异均存在统计学意义($P<0.05$);正常颈髓白质不同年龄组之间的FA值相比,差异均具有统计学意义($F=19.04$; $F=18.81$; $F=9.95$, 均 $P<0.001$),进一步两两比较,青年组和老年组的前索、中年组与老年组的后索FA值相比,差异不具有统计学意义($P>0.05$),其余不同年龄组之间FA值差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 不同性别颈髓灰、白质的ADC和FA值 不同性别颈髓灰、白质的ADC和FA值见表4。结果表明,正常颈髓中央灰质不同性别之间的ADC值、FA值相比,差异不具有统计学意义($F=0.667$; $F=0.687$, $P>0.05$);正常颈髓白质(前索、侧索与后索)不同性别之间的ADC值、FA值相比,差异不具有统计学意义($F=0.375$, $F=0.66$; $F=0.596$, $F=0.749$; $F=0.261$, $F=0.833$, 均 $P>0.05$),见表4。

2.4 年龄与颈髓灰白质的ADC和FA值相关性分析

使用Spearman相关性分析研究不同节段颈髓白质和中央灰质的ADC、FA值与年龄之间的相关性。年龄与前索上段ADC不具有相关性($r=0.182, P>0.05$), 其余节段颈髓白质和中央灰质的ADC、FA值与

年龄之间均具有相关性, 其中前索下段的ADC值与年龄呈正相关, 其余节段颈髓白质和中央灰质的ADC、FA值与年龄均呈负性相关。

3 讨论

磁共振DWI、DTI可通过检测

活体组织内水分子的扩散速度和方向性, 能显示脊髓白质内纤维束的疏密程度和结构完整性。2002年, Ries等^[5]对颈椎病患者的研究首先提出DTI能检查出常规MRI不能发现的脊髓损伤病灶。有关颈椎病、多发性硬化DTI的研究^[5-6]结果显示颈髓DTI能展示常规

表1 MRI扫描序列参数

参数	矢状位T1W1	矢状位T2W1	轴位T2W1	轴位DTI
TR/TE (ms)	2000/24	3000/110	3000/120	8000/87.9
层厚/层间距 (mm)	3.0/1.0	3.0/1.0	35.0/0.5	4.0/0.0
FOV (mm × mm)	24 × 24	240 × 240	180 × 180	240 × 240
矩阵	384 × 224	384 × 224	288 × 224	130 × 128
NEX	2	4	4	2
Times (min: s)	2:11	2:02	1:49	4:24

表2 不同节段颈髓灰、白质的ADC和FA值

参数	上段	中段	下段	F	P
前索 ADC	1.10 ± 0.05	1.10 ± 0.04	1.06 ± 0.04	10.17	<0.001
前索 FA	0.74 ± 0.03	0.71 ± 0.03	0.72 ± 0.04	4.105	0.019
侧索 ADC	1.11 ± 0.06	1.13 ± 0.08	1.10 ± 0.05	2.54	0.081
侧索 FA	0.83 ± 0.04	0.81 ± 0.03	0.79 ± 0.03	12.67	<0.001
后索 ADC	1.40 ± 0.10	1.38 ± 0.09	1.28 ± 0.09	16.84	<0.001
后索 FA	0.78 ± 0.04	0.76 ± 0.04	0.75 ± 0.04	4.09	0.019
灰质 ADC	1.07 ± 0.04	1.05 ± 0.05	1.04 ± 0.06	2.374	0.098
灰质 FA	0.60 ± 0.04	0.60 ± 0.04	0.60 ± 0.03	0.362	0.697

表3 不同年龄组颈髓灰、白质的ADC和FA值

参数	青年	中年	老年	F	P
前索 ADC	1.07 ± 0.03	1.09 ± 0.02	1.10 ± 0.03	3.54	0.04
前索 FA	0.76 ± 0.03	0.73 ± 0.01	0.68 ± 0.04	19.04	<0.001
侧索 ADC	1.17 ± 0.04	1.10 ± 0.02	1.08 ± 0.03	25.69	<0.001
侧索 FA	0.83 ± 0.01	0.82 ± 0.01	0.78 ± 0.03	18.81	<0.001
后索 ADC	1.43 ± 0.06	1.36 ± 0.05	1.30 ± 0.05	23.34	<0.001
后索 FA	0.80 ± 0.02	0.76 ± 0.02	0.74 ± 0.05	9.95	<0.001
灰质 ADC	1.09 ± 0.04	1.05 ± 0.05	1.03 ± 0.02	8.61	0.001
灰质 FA	0.63 ± 0.02	0.61 ± 0.01	0.57 ± 0.03	23.64	<0.001

表4 不同性别颈髓灰、白质的ADC和FA值

参数	男性	女性	t	P
前索 ADC	1.08 ± 0.03	1.09 ± 0.02	-0.892	0.375
前索 FA	0.72 ± 0.04	0.72 ± 0.05	0.435	0.66
侧索 ADC	1.11 ± 0.05	1.12 ± 0.05	-0.535	0.596
侧索 FA	0.81 ± 0.03	0.81 ± 0.03	-0.322	0.749
后索 ADC	1.34 ± 0.08	1.37 ± 0.07	-1.143	0.261
后索 FA	0.77 ± 0.04	0.76 ± 0.04	0.212	0.833
灰质 ADC	1.06 ± 0.04	1.05 ± 0.05	0.434	0.667
灰质 FA	0.60 ± 0.04	0.60 ± 0.04	-0.407	0.687

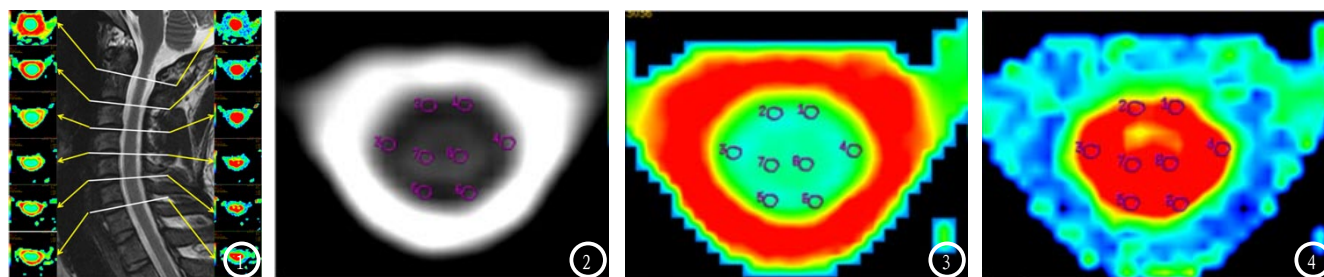


图1 矢状位T2W1图像。测量C1-C7椎间盘层面髓质的DTI参数值，左列为各个椎间盘平面的ADC图，右列为各个平面的FA图。图2-4 勾画ROI。A-C分别为b=0的DTI图、ADC图和FA图。

MRI不能发现颈髓早期改变，并能对原发性多发性硬化症中神经轴索损伤的范围和活动性胶质反应进行准确评估，可能有助于颈椎病、多发性硬化患者中脊髓功能损伤的分级、病情监测和疗效评价。ADC增加可以准确反映组织含水量的增加，表明组织内自由水分子增加^[7]。FA是扩散张量各向异性成分与整个扩散张量的比值，是各向异性的常见指标，可以反映白质纤维束对水分子扩散的限制以及髓鞘化程度。

本研究中，我们运用DTI技术，分析了正常成人颈髓不同节段（上段，中段及下段）的白质和灰质的ADC和FA水平，结果表明正常颈髓中央灰质不同节段之间的ADC值、FA值相比，差异不具有统计学意义（ $P>0.05$ ），白质不同节段之间的ADC和FA值相比，差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ），而且上段ADC和FA值均大于下段，不同节段中央灰质ADC和FA值均小于白质，这与中央灰质的组分有关^[8]。我们进一步考察了正常成人颈髓白质不同轴索（前索，侧索和后索）之间的ADC和FA值的表达情况，发现不同轴索之间的ADC和FA值存在差异（ $P<0.05$ ），具体表现为ADC在前索，侧索和后索中逐渐升高，FA在侧索中水平最高，前索和后索中水平相当，提示检测白质DTI参数时，需要考虑不同轴索之间的区别。

同时，本研究比较了不同年龄段和性别之间颈髓灰、白质ADC和FA值的差异，发现正常颈髓中

中央灰、白质不同年龄组之间的ADC和FA值相比，差异均具有统计学意义（ $P<0.05$ ），ADC和FA值随年龄的增加有降低的趋势；而男性和女性的ADC和FA值相比，差异不具有统计学意义（ $P>0.05$ ），提示ADC和FA值与年龄因素相关，而与性别因素无关，随年龄的增长椎管开始狭窄，导致相关参数值减少，与文献报道一致^[9]。我们进一步分析了年龄与颈髓灰白质的ADC和FA值的相关性，我们发现年龄与前索上段ADC不具有相关性，其余节段颈髓白质和中央灰质的ADC、FA值与年龄之间均具有相关性，其中前索下段的ADC值与年龄呈正相关，其余节段颈髓白质和中央灰质的ADC、FA值与年龄均呈负性相关。

综上所述，DTI能够提供完整的颈髓功能图，并可对颈髓进行量化评估。不同节段之间的颈髓灰质的扩散能力和扩散各向异性基本相同，不同节段之间的颈髓白质的扩散能力和扩散各向异性存在差异，不同轴索白质的扩散能力和扩散各向异性存在差异，性别因素对颈髓的扩散能力及各向异性影响不显著，年龄因素对颈髓的扩散能力及各向异性具有显著影响，正常颈髓的扩散及各向异性与年龄存在相关性。运用DTI对颈髓疾病进行研究时，应充分考虑到年龄、节段以及轴索因素的影响。

参考文献

- [1] Yoo WK, Kim TH, Hai DM, et al. Correlation of magnetic resonance diffusion tensor imaging and clinical findings of cervical myelopathy[J]. Spine J, 2013, 13(8): 867-876.
- [2] 孙敬, 刘涛, 徐菡, 等. 磁共振扩散张量成像在神经导航中的初步应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2011, 9(5): 41-44.
- [3] 李树学, 王本国, 莫雪玲, 等. 磁共振弥散张量成像(DTI)在脑梗死皮质脊髓束损伤与运动功能转归相关性中的应用研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2011, 9(5): 28-31.
- [4] Schwartz ED, Cooper ET, Chin CL, et al. Ex vivo evaluation of ADC values within spinal cord white matter tracts[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2005, 26(2): 390-397.
- [5] Ries M, Jones RA, Dousset V, et al. Diffusion tensor MRI of the spinal cord[J]. Magn Reson Med, 2000, 44(6): 884-892.
- [6] Agosta F, Benedetti B, Rocca MA, et al. Quantification of cervical cord pathology in primary progressive MS using diffusion tensor MRI[J]. Neurology, 2005, 64(4): 631-635.
- [7] Sehafer PW, Grant PE, Gonzalez RG. Diffusion weighted MR imaging of the brain[J]. Radiology, 2000, 217(2): 331-345.
- [8] Mamata H, Jolesz FA, Maier SE. Characterization of central nervous system structures by magnetic resonance diffusion anisotropy[J]. Neurochem Int, 2004, 45(4): 553-560.
- [9] Ishikawa M, Matsumoto M, Fujimura Y, et al. Changes of cervical spinal cord and cervical spinal canal with age in asymptomatic subjects[J]. Spinal Cord, 2003, 41(3): 159-163.

(本文编辑: 张嘉瑜)

【收稿日期】2015-11-27