

磁共振弥散张量成像定量分析正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根黄 山¹, 晏铮剑¹, 邓忠良¹, 吴 伟², 张 伟²

(重庆医科大学附属第二医院 1. 骨科; 2. 放射科, 重庆 400010)

【摘要】目的:探讨正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)及神经纤维束示踪成像(diffusion tensor tractography, DTT)的可行性及量化特征。**方法:**20 名健康志愿者接受 3.0 T 飞利浦磁共振检查机 DTI 及 DTT, 测定 L₄、L₅、S₁ 神经根各向异性系数(fractional anisotropy, FA)、表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)并进行双侧神经根及同侧上下神经根弥散数值的比较。**结果:**20 名健康志愿者 DTI 及 DTT 均成功, DTT 图可以清晰显示 L₄、L₅、S₁ 神经根。测量 L₄、L₅、S₁ 神经根 FA 及 ADC 的均值分别为 0.395 ± 0.146 和 $(1.288 \pm 0.116) \text{ mm}^2/\text{s}$, 0.390 ± 0.122 和 $(1.297 \pm 0.087) \text{ mm}^2/\text{s}$, 0.387 ± 0.117 和 $(1.294 \pm 0.132) \text{ mm}^2/\text{s}$ 。双侧神经根及同侧上下神经根弥散参数无差异($P>0.05$)。**结论:**正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根 DTI 及 DTT 是可行的, 能够显示神经根走行并进行量化分析, 为研究神经根病变提供了影像学信息。

【关键词】弥散张量成像; 神经纤维束示踪成像; 神经根

【中国图书分类法分类号】R681.5; R445.2

【文献标志码】A

【收稿日期】2013-02-28

Quantitative analysis of L₄、L₅、S₁ nerve roots of normal adults with magnetic resonance diffusion tensor imagingHUANG Shan¹, YAN Zhengjian¹, DENG Zhongliang¹, WU Wei², ZHANG Wei²(1. Department of Orthopedics; 2. Department of Radiology,
the Second Affiliated Hospital, Chongqing Medical University)

【Abstract】Objective: To investigate the feasibility of diffusion tensor imaging (DTI) and diffusion tensor tractography (DTT) on L₄、L₅、S₁ nerve roots of normal adults and to analyze the diffusion parameters. **Methods:** DTI and DTT were performed on 20 healthy volunteers at Philips Achieva 3.0 T magnetic resonance scanner. Fractional anisotropy (FA) and apparent diffusion coefficient (ADC) of the nerve roots (L₄、L₅、S₁) were measured and results of DTI and DTT were obtained. **Results:** Twenty volunteers were successful reconstructed by DTI and DTT. L₄、L₅、S₁ nerve roots could show clearly on the DTT map. Average FA and ADC values of healthy volunteers (L₄、L₅、S₁) were 0.395 ± 0.146 and $(1.288 \pm 0.116) \text{ mm}^2/\text{s}$, 0.390 ± 0.122 and $(1.297 \pm 0.087) \text{ mm}^2/\text{s}$, 0.387 ± 0.117 and $(1.294 \pm 0.132) \text{ mm}^2/\text{s}$, respectively. There was no significant difference of diffusion tensor parameters between bilateral nerve roots ($P>0.05$) and between upper and lower nerve roots ($P>0.05$). **Conclusions:** DTI and DTT on L₄、L₅、S₁ nerve roots of normal adults are feasible. DTI and DTT can show the architecture of the nerve roots and provide quantitative information for further research of the nerve root diseases.

【Key words】diffusion tensor imaging; diffusion tensor tractography; nerve root

常规磁共振难以显示腰骶神经根的解剖形态及走行, 更不能进行神经根定量分析。磁共振弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)及神经纤维束示踪成像(diffusion tensor tractography, DTT)的出现为外周神经细微结构的显示和定量分析提供了

新方法^[1], 国内外学者已将此技术应用于坐骨神经、臂丛神经及正中神经^[2-3]等周围神经的检查分析中, 对腰骶神经根的研究只有 2012 年 Vander Jagt 等^[4]对正常人的骶丛神经进行 DTT 进行了报道, 而国内尚无相关研究报道。本文将探讨 3.0 T 磁共振对正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根 DTI 及 DTT 的可行性, 进一步测定神经根各项弥散参数并进行定量分析。

作者介绍: 黄 山, Email: 404393466@qq.com,

研究方向: 脊柱外科。

通信作者: 邓忠良, Email: deng7586@gmail.com。

1 对象与方法

1.1 研究对象

试验受试者为 20 名健康成年人,男 7 例,女 13 例,年龄 20~65 岁,中位数年龄为 37 岁,均身体健康,主诉无腰腿痛病史,经骨科医师及神经外科医师查体检查证实无脊柱侧弯,无中枢或周围神经损害,入院检查血糖正常,普通腰椎磁共振检查无异常。

1.2 仪器设备及磁共振扫描

采用 Philips Achieva 3.0 T 磁共振检查机对受试者行腰椎 DTI,扫描序列由试验参与人员参考国内外文献并进行多次预试验后得出^[4]。MR 常规成像参数及 DTI 参数为:T1WI, TR=453 ms, TE=8.0 ms, FOV (AP=300 mm, FH=261 mm, RL=52 mm), 矩阵=248×258, 层数=12 层, 层厚=4 mm; T2WI, TR=2 000 ms, TE=100 ms, FOV (同 T1WI), 矩阵=224×224, 层数=12 层, 层厚=4 mm; DTI 序列参数: TR=3 498 ms, TE=50 ms; b 值=800 s/mm²; 矩阵=96×99; 层间距=1.5 mm。

1.3 数据后处理及数据分析

普通 MR 及 DTI 扫描检查结束后,试验结果转入 Philips 后期图像处理软件(MR work space 2.6.3.2)进行处理。获得的 DTI 扫描原始图像经 2 名有经验的放射诊断医师进行 DTT 从而得到神经根的三维重建图像,再进行各神经根各向异性系数(fractional anisotropy, FA)及表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值的测量。神经根兴趣区(regions of interest, ROI)的选择及 FA、ADC 值测量方法如下:①结合 T1WI 矢状位及横断位图像辅助定位,将脊神经由硬膜囊出行处、椎间孔上半部及椎间孔外 3 处设定 ROI,像素 40 mm²,分别测定 FA 及 ADC 值,连续测量 3 次取平均值;②所取兴趣区需包括神经根整个截面,避免周围肌肉等软组织对弥散数据的干扰^[5],尽量减小系统误差。

1.4 统计学处理

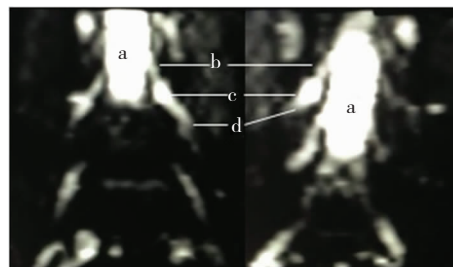
所有数据应用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。神经根双侧弥散参数均值比较采用 *t* 检验; L₄、L₅、S₁ 各神经根弥散参数均值比较采用单因素方差分析,组间两两比较采用 LSD-*t* 检验。以 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根的 DTI 及 DTT 成像结果

20 名受试者通过后期处理均得到满意的 DTI 图像和 DTT 图像。硬膜囊及脊神经根在图 1 中呈高信号,双侧脊神经根自硬膜囊分出后,在椎间孔区域脊神经后根膨大形成神经节,节后脊神经根分为前支及后支,前支较粗,而后支较细小,图 1 中呈类圆形高信号的即为神经节,节前为神经根鞘,节后双侧脊神经前支可分辨,而后支无法清晰显影,出行的神经根前支呈 45°向下向外走行,呈扇形分布。图 2 中双侧 L₄、L₅、S₁ 神经根三维重建图形得以显示,计算机根据神经纤维束的走行方向标注颜色,蓝色代表上下走行方向,红色代

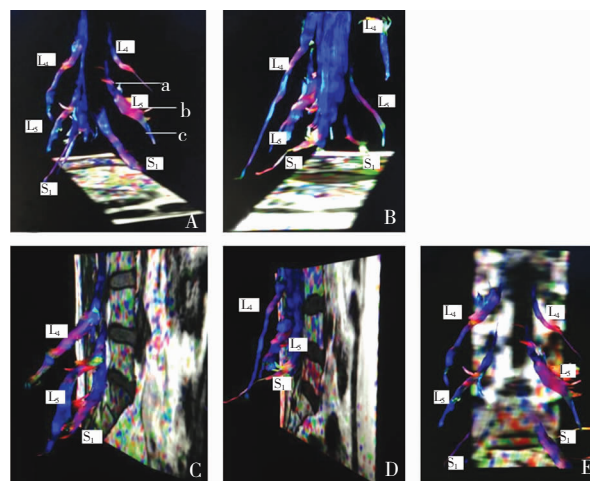
表左右走行方向,绿色代表前后走行方向,复合方向走行的纤维束标注为紫红色、橘黄色等。正常人硬膜囊及神经根的标注颜色以蓝色为主,见图 2(A、C、E 为同一受试者, B、D 为同一受试者)。脊神经根在由硬膜囊出行后,脊神经根被神经根鞘包绕,纤维束标注颜色与硬膜囊相近,大部分为蓝色,部分纤维束被标注为绿色。继续向下走行,接近膨大神经节部分呈现紫红色,远离神经节部分为蓝色。根据不同位置标注色的变化,可以判断出脊神经根在由硬膜囊出行后的不同的解剖位置,见图 2A。



a. 硬膜囊; b. 神经根鞘; c. 神经节; d. 脊神经前支

图 1 2 名受试者 DTI 成像结果

Fig.1 DTI results of two volunteers



A. 神经根重建后三维全景图; a. 神经根鞘; b. 神经节; c. 脊神经前支。B. 硬膜囊及双侧神经根的三维全景图; C、D. 与 T1WI 矢状位图像结合后显示神经根在穿出椎间孔后的形态及走行; E. 与 T1WI 冠状位图像结合后显示神经根的形态及走行

图 2 2 名受试者 DTT 成像结果

Fig.2 DTT results of two volunteers

2.2 正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根的 FA 和 ADC 值特征

正常成人双侧 L₄ 神经根 FA 均值为 0.395 ± 0.146 , ADC 值为 $(1.288 \pm 0.116) \text{ mm}^2/\text{s}$; L₅ 双侧神经根的 FA 均值为 0.390 ± 0.122 , ADC 值为 $(1.297 \pm 0.087) \text{ mm}^2/\text{s}$; S₁ 双侧神经根的 FA 均值为 0.387 ± 0.117 , ADC 值为 $(1.294 \pm 0.132) \text{ mm}^2/\text{s}$ 。L₄、L₅、S₁ 同一水平左、右侧神经根 FA 值、ADC 值差异均无统计学意义 (P 值均 > 0.05); L₄、L₅、S₁ 不同水平各神经根 FA 值、ADC 值两两比较差异均无统计学意义 (P 值均 > 0.05), 见表 1、2。

表 1 20 名健康成人 L₄, L₅, S₁ 双侧神经根的 FA 值、ADC 值Tab.1 FA and ADC values of L₄, L₅, S₁ nerve roots of 20 healthy volunteers

神经根	FA 值		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	ADC 值 (mm ² /s)		<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
	左侧	右侧			左侧	右侧		
L ₄	0.397 ± 0.176	0.391 ± 0.110	1.730	0.099	1.280 ± 0.150	1.282 ± 0.113	0.870	0.395
L ₅	0.386 ± 0.112	0.383 ± 0.107	1.327	0.200	1.300 ± 0.127	1.305 ± 0.141	1.293	0.212
S ₁	0.401 ± 0.107	0.405 ± 0.105	0.853	0.404	1.312 ± 0.142	1.295 ± 0.100	0.677	0.506
均值	0.395 ± 0.130	0.383 ± 0.140	1.453	0.163	1.297 ± 0.125	1.295 ± 0.097	1.690	0.107

表 2 20 名健康成人 L₄, L₅, S₁ 神经根的 FA 值、ADC 值的两两比较Tab.2 Comparisons of FA and ADC values of L₄, L₅, S₁ nerve roots of 20 healthy volunteers

	L ₄	L ₅	S ₁	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	<i>P</i> 值 (L ₄ 与 L ₅ 比较)	<i>P</i> 值 (L ₄ 与 S ₁ 比较)	<i>P</i> 值 (L ₅ 与 S ₁ 比较)
双侧神经根 FA 均值	0.395 ± 0.146	0.390 ± 0.122	0.387 ± 0.117	1.456	0.237	0.302	0.099	0.532
双侧神经根 ADC 均值 (mm ² /s)	1.288 ± 0.116	1.297 ± 0.087	1.294 ± 0.132	0.663	0.517	0.293	0.494	0.733

3 讨论

3.1 正常腰骶神经根 DTI 研究的意义

近年来,罹患腰椎间盘突出症的人群日益增多,对患者生活、工作和劳动均可造成很大影响。腰椎间盘突出纤维环破裂髓核脱出对腰骶神经根造成机械性压迫导致神经损害^[6],而 L₄、L₅、S₁ 神经根损害症状在临床工作中最为常见。在接受椎间盘手术的病例中,神经根是否受损尚缺乏定量依据来指导手术进行,术后受损神经根恢复情况仍缺乏定量评估方法。近年来,DTI 及 DTT 技术的出现为外周神经细微结构的显示及定量分析提供了新的办法。DTI 成像是一种基于 MRI 图像特征的成像方法,主要通过检测具有各向异性的周围神经水分子弥散运动探讨组织微观结构完整性^[7]。而 DTT 技术是 DTI 技术的进一步发展,其必须基于 DTI 的原始图像,再通过计算机软件重建神经的三维图像并进行量化分析。神经根是各向异性组织,沿着神经纤维走行方向的分子运动较快,垂直与神经纤维方向的运动较慢,神经根在损伤后水分子的各向运动快慢发生变化,但大体形态在早期可能未发生明显改变,通过 DTI 及 DTT 技术可以发现神经弥散参数的异常,从而为早期诊断神经根病变带来了可能^[8-9]。本研究初步探讨正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根 DTI 及 DTT 的可能性,对各种神经根弥散参数进行测量并进行统计学分析。

3.2 正常成人 L₄、L₅、S₁ 神经根的 DTI、DTT 成像及弥散参数的测量

正常人的腰神经根自硬膜囊发出后向外下斜向走行一段距离后才紧贴椎间孔的上半出孔,L₄、L₅、S₁ 神经根较粗,向下斜行角度较上位神经根更大,其自身及周围结构的解剖特点决定了 L₄、L₅、S₁ 神经根容易在硬膜囊出行处、侧隐窝及椎间孔等位置容易受到卡压^[6],从而出现腰腿痛等临床表现。本研究中 20 名健康志愿者接受 DTI 及 DTT 均得到了 L₄、L₅、S₁ 神经根重建图像,正常硬膜囊及神经根在 DTI 图中呈高信号,神经根自硬膜囊分出后呈约 45° 向下向外走行,呈扇形分布。在图 2 中,硬膜囊及神经根标注色主要为蓝色,由此推测神经纤维束走行基本为同一方向。脊神经根在由硬膜囊出行后,纤维束标注颜色与硬膜囊相近,大部分为蓝色,部分纤维束被标注为绿色,推测原因是因为此处神经根被鞘包绕,而神经根鞘为结缔组织,故出现不同于神经根颜色的绿色。继续向下走行,接近膨大神经节部分呈现紫红色,推测原因为此处脊神经后根膨大形成神经节,在节后脊神经根分成前后支,神经纤维的走行方向不尽相同,故出现了复合方向标注色紫红色。而远离神经节部分为无鞘包绕的脊神经根前支,颜色大部分又转为蓝色。根据不同位置标注色的变化,可以判断脊神经根在由硬膜囊出行后的不同解剖位置。在弥散参数的测量中,本研究采用多 ROI 法^[2]对由硬膜囊出行至椎间孔一段神经根进行弥散参数的测定,将 ROI 设置于脊神经由硬膜

囊出行处、椎间孔上半部及椎间孔外 3 处,为避免周围组织的干扰,采用固定大小的 ROI 进行神经纤维束提取,多次预实验结果提示所测数据较为稳定。在对各神经根弥散数值进行统计学分析比较后发现: L_4 、 L_5 、 S_1 同一水平左、右侧神经根 FA 值、ADC 值无明显差异; L_4 、 L_5 、 S_1 不同水平各神经根 FA 值、ADC 值两两比较无明显差异,推测脊神经根为较均质的组织,双侧及上下神经根变异程度不大。Vander Jagt^[4]在对正常人的骶丛神经的研究中测量得到 L_4 神经 FA 值为 0.280 ± 0.050 , L_5 神经 FA 值为 0.310 ± 0.030 , S_1 神经 FA 值为 0.260 ± 0.050 ,但未进行 ADC 值测定,与本研究测定神经根 FA 值比较偏低,推测原因与机器设备、扫描序列及测量方法有关。Zhou 等^[10]在对正常成人尺桡神经的 DTI 成像研究中发现双侧尺桡神经的 FA 及 ADC 值无明显差异,但所测弥散数值与本研究中获得数据有差别,推测原因可能与神经粗细程度不同有关。

3.3 不足之处

本研究运用 3.0 T 磁共振检查机开展正常成人的 L_4 、 L_5 、 S_1 神经根 DTI 及 DTT,论证了该技术显示腰骶神经根的可能性,但仍存在以下不足:由于神经根走行的复杂性,临近组织的影响以及弥散张量成像对磁场不均匀高度敏感^[11]等原因,重建的神经影像长短粗细不均且无法显示腰骶神经的全长图像,成像参数在后续研究中有待进一步优化;未进行病变神经根的成像研究,需在后续研究中进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] 陈镜聪,李新春,孙翀鹏,等.正常成人近段坐骨神经的弥散张量成像[J].中国临床康复,2012,16(9):1647-1650.
Chen J C, Li X C, Sun C P, et al. Diffusion tensor imaging on the proximal sciatic nerve of normal adults[J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2012, 16(9): 1647-1650.
- [2] 陈妙玲,李新春,陈镜聪,等.磁共振扩散张量成像定量分析正常臂丛神经[J].中国医学影像技术,2012,28(1):77-81.
Chen M L, Li X C, Chen J C, et al. Quantitative analysis of the normal brachial plexus with diffusion tensor imaging[J]. China Journal of Medical Imaging Technology, 2012, 28(1): 77-81.
- [3] Guggenberger R, Markovic D, Eppenberger P, et al. Assessment of median nerve with MR neurography by using diffusion-tensor imaging: normative and pathologic diffusion values[J]. Radiology, 2012, 265(1): 194-203.
- [4] Vander Jagt P K, Dik P, Froeling M, et al. Architectural configuration and microstructural properties of the sacral plexus: a diffusion tensor MRI and fiber tractography study[J]. Neuroimage, 2012, 62(3): 1792-1799.
- [5] 陈细香,魏文洲,郑晓华,等. DTI 在脊髓型颈椎病中的应用价值[J]. 中国医学影像技术, 2007, 23(12): 1860-1862.
Chen X X, Wei W Z, Zheng X H, et al. Value of diffusion tensor imaging in cervical spondylotic myelopathy[J]. China Journal of Medical Imaging Technology, 2007, 23(12): 1860-1862.
- [6] 陈雄生. 腰骶神经根及其周围解剖与受压机制[J]. 颈腰痛杂志, 1996, 17(3): 185-188.
Chen X S. Study of anatomical features and compression mechanism of lumbosacral nerve roots[J]. Journal of Cervicodynia and Lumbodynia, 1996, 17(3): 185-188.
- [7] Rajasekaran S, Kanna R M, Shetty A P. Diffusion tensor imaging of the spinal cord and its clinical applications[J]. J Bone Joint Surg Br, 2012, 94(8): 1024-1031.
- [8] 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病脊髓慢性损伤的评价[J]. 磁共振成像, 2010, 1(3): 188-193.
Wu L B, Zhu X Y, Wang G B, et al. Diffusion tensor MR imaging of cervical spinal cord: cervical spondylosis-related changes[J]. China Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2010, 1(3): 188-193.
- [9] 陈 蕾,刘国利,王大维,等. 磁共振弥散张量成像对脊髓损伤的临床应用价值[J]. 海南医学院学报, 2009, 15(11): 1427-1430.
Chen L, Liu G L, Wang D W, et al. Clinical application of magnetic resonance diffusion tensor imaging for spinal cord injury diagnosis[J]. Journal of Hainan Medical College, 2009, 15(11): 1427-1430.
- [10] Zhou Y, Kumaravel M, Patel V S, et al. Diffusion tensor imaging of forearm nerves in humans[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2012, 36(4): 920-927.
- [11] 苏晋生,代卫斌,武瑞凤,等. DTI 对脊髓圆锥与终丝界限区分的初步研究[J]. 实用医学影像杂志, 2005, 6(5): 250-252.
Su J S, Dai W B, Wu R F, et al. Diffusion-tensor weighted MR imaging of conus terminalis and filum terminale: a preliminary study[J]. Journal of Practical Medical Imaging, 2005, 6(5): 250-252.

(责任编辑:关蕴良)