

• 骨骼肌肉影像学 •

DTI 在腰椎间盘突出引起腰骶神经根压迫症中的应用价值

汪博, 范国光

【摘要】 目的:探讨腰骶神经根扩散张量成像(DTI)及纤维示踪成像(FT)的可行性,同时评定健康志愿者及腰椎间盘突出引起单侧坐骨神经痛患者的腰骶神经根 DTI 参数不同层面数值的连续性变化。**方法:**将 20 例腰椎间盘突出引起单侧坐骨神经痛的患者及 20 例与患者年龄相仿的健康志愿者同时纳入研究。所有检查均在 Siemens 3.0T MR 上进行,采用 3D T₁-VIBE 及 DTI 融合图像,分别在神经根(L₅和 S₁)的三个不同层面测量左右两侧神经根的各向异性分数(FA)值和 ADC 值,同时进行 L₄、L₅、S₁ 神经根 FT。**结果:**20 例健康志愿者 L5 和 S1 神经根左、右两侧 FA 值分别为 0.319±0.019 和 0.320±0.019,ADC 值分别为 1.427±0.171 和 1.416±0.185,左右两侧差异无统计学意义($P>0.05$);不同层面神经根两两之间的 FA 及 ADC 值差异无统计学意义($P>0.05$)。20 例患者的患侧神经根 FA 值低于健侧,分别为 0.285±0.026 和 0.319±0.019,差异有统计学意义($P<0.05$);患侧神经根近端至远端 FA 值逐层递减($P<0.05$),ADC 值逐层递增($P<0.05$);健侧不同层面 FA 值无明显差异($P>0.05$)。**结论:**DTI 结合常规 MRI 对定量评价病变神经根及定位诊断腰骶神经根卡压有一定的应用价值。

【关键词】 磁共振成像; 扩散张量成像; 腰椎间盘突出

【中图分类号】 R445.2 ; R681.53 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)07-0658-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.07.019

Value of DTI in the evaluation of lumbosacral nerve entrapment in disc herniation WANG Bo, FAN Guo-guang. Department of Radiology, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China

【Abstract】 Objective: To study the feasibility of diffusion tensor imaging (DTI) and fiber tracking (FT) in the evaluation of lumbar-sacral nerve root, and to assess the potential changes of DTI parameters in different levels of the lumbar nerve roots in healthy volunteers and patients suffering with unilateral sciatica caused by disc herniation. **Methods:** 20 patients with unilateral sciatica related to disc herniation and 20 healthy volunteers with similar age were enrolled in this study. All of the subjects were studied with a 3.0T MR scanner, 3D T₁-VIBE and DTI fusing images were used. The FA and ADC values on three different levels of bilateral L₅ and S₁ nerve roots were measured, tractography of L₄-S₁ nerve root fiber was performed simultaneously. **Results:** There was no significant difference in FA or ADC between left and right nerve roots at the same level of L₅ and S₁ (left FA: 0.319±0.019, right FA: 0.320±0.019; left ADC: 1.427±0.171, right ADC: 1.416±0.185; $P>0.05$) in healthy volunteers. No significant difference was existed on FA and ADC values at different levels of nerve root ($P>0.05$). Of the 20 patients with sciatica, the FA values were significantly lower at the affected side compared with the healthy side, which was 0.285±0.026, 0.319±0.019 respectively ($P<0.05$). The FA values of the nerve roots of affected side decreased and declined gradually from proximal to distal ($P<0.05$); while the ADC values was on the opposite trend, which accented gradually ($P<0.05$). FA values in healthy side showed no difference at different levels ($P>0.05$). **Conclusion:** DTI in combination with conventional MRI show significant potential in the quantitative evaluation as well as providing localization of nerve root compression.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Diffusion tensor imaging; Lumbar disc herniation

腰椎间盘突出是常见的腰椎退行性变,经常引起腰骶神经根压迫症,典型症状是自臀部至足背沿坐骨神经通路放射性分布的疼痛。常规 MRI 检查可以提供腰椎间盘突出部位、程度,以及与邻近腰骶神经根的相关关系,主要用来观察神经根是否受压,但有研究显示 MRI 观察到的神经根压迫情况与临床症状并无显著相关性^[1],同时无症状的老年患者中有太高的假阳性率,部分神经阻滞术后症状未得到缓解及伴有持

续的术后疼痛^[2],可能是因为常规 MRI 可以观察神经根受压情况但不能较准确地定位诊断神经根病变。扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)及纤维束示踪成像(fiber tractography, FT)广泛应用于中枢神经系统,近来很多研究认为 DTI 可以用于观测鼠的坐骨神经轴突的再生^[3],同时认为其是诊断周围神经受压的潜在实用性方法。不同于常规 MRI,DTI 着重于观察卡压的神经根而不是突出的椎间盘,其相关参数各向异性分数(fractional anisotropy, FA)值和 ADC 值的变化代表神经根水分子运动方向的改变,进而可以更进一步反映受压神经根的不同层面微观的病理生理过程。此研究的主要目的是应用 3.0T 磁共振分析

作者单位: 110001 沈阳,中国医科大学附属第一医院放射科

作者简介:汪博(1991—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事神经功能成像研究。

通讯作者:范国光, E-mail: fanguog@vip.sina.cn

健康志愿者及神经卡压患者受压神经根近端至远端的 FA 值及 ADC 值的连续性变化,同时探讨 FT 在显示腰骶神经根受压情况中的作用。

材料与方法

1. 一般资料

病变组:本研究纳入 20 名 L₄—L₅、L₅—S₁ 椎间盘突出引起的单侧坐骨神经痛患者,女 9 例,男 11 例,年龄 24~70 岁,平均 48 岁。其中 L₅ 单侧神经根受压 12 例,S₁ 单侧神经根受压 8 例。纳入标准:具有不同程度的单侧腰腿痛,病程 2~6 个月,疼痛区域局限于 L₅、S₁ 神经根支配区域;具备肌肉无力、萎缩、感觉减退及腱反射能力减弱 4 项中的两项;MRI 提示椎间盘旁中央型或椎间孔型单侧狭窄(不包括椎间盘膨出)。排除标准:腰部外伤史、腰部外科手术治疗史、先天性腰椎变异、脊髓病变、椎管内肿瘤、椎管狭窄、多节段椎间盘突出、关节不稳、关节突肥大、MRI 禁忌症病史,女性患者有宫内节育器。

正常对照组:另外纳入 20 名健康志愿者,女 12 例,男 8 例,年龄 25~62 岁,平均 40 岁。所有志愿者均属正常生活状态,无腰痛及坐骨神经痛病史。

2. 检查方法

采用 Siemens 3.0T MR 扫描仪,扫描范围自 L₃—L₄ 椎间盘至 S₂—S₃ 椎间盘水平。两组扫描方法相同,首先进行 3D T₁-VIBE 扫描:TR 7.00 ms,TE 2.46 ms,视野 200 mm×200 mm,层厚 1.0 mm,采集次数 1,扫描时间 3 min 38 s。

DTI 图像拷贝 3D T₁-VIBE 扫描序列中心,采用单次激发自旋回波-回波平面序列(EPI),扫描参数如下:TR 7207 ms,TE 95 ms,视野 230 mm×230 mm,矩阵 130×130,层厚 3.0 mm,扫描层数 40,采集次数 3,b 值 0 和 800 s/mm²,20 个梯度方向,扫描时间 7 min 57 s。

3. 图像分析和测量

采用 Siemens 工作站 Neuro 3D Syngo 软件进行神经根不同层面 FA 值及 ADC 值的测定及腰骶丛(主要为 L₄、L₅、S₁ 神经根)神经 FT。结合 3D T₁-VIBE 及 DTI 融合图像共同观察腰骶神经根,3D T₁-VIBE 作为解剖结构定位像,测量时在 L₅ 及 S₁ 左右两侧神经根不同位置选取 3 个 ROI,分别位于椎间孔向内开

口处(近侧)、椎间孔处(中层)、椎间孔向外开口处(远端),左右取自同一层面。每个 ROI 的面积大小控制在 25~50 mm²(图 1a、b),以免产生部分容积效应影响测量结果。每个测量位置取三次测量的平均值。腰骶丛纤维追踪成像,算法设置:FA 阈值 0.15,最大角度 30°,最小纤维束长度 4 mm。

4. 统计分析

采用 SPSS 16.0 统计软件对所有数据进行统计分析,所有数据经两次重复输入以避免错误。首先对各组数值进行正态性检验和方差齐性检验,满足检验后,正常志愿者测量数值采用单因素方差分析方法,Student-Newman-Keuls 检验两两比较 L₅ 及 S₁ 左右两侧神经根不同层面的 DTI 参数;患者有症状侧及无症状侧同一层面两侧神经根采用两独立样本 *t* 检验分析 DTI 参数的差异性,同时采用单因素方差分析方法 SNK-q 检验比较病变侧不同层面 DTI 参数两两之间的差异性,数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 正常对照组 L5 及 S1 神经根参数

L₅ 及 S₁ 左、右两侧神经根定量测量的平均 FA 值分别为 0.319 ± 0.019 和 0.320 ± 0.019 ,平均 ADC 值分别为 $(1.427 \pm 0.171) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $(1.416 \pm 0.185) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。左、右两侧同节段神经根 FA 值及 ADC 值差异无统计学意义($P > 0.05$),且三个不同层面神经根两两之间 FA 值及 ADC 值差异也无统计学意义($P > 0.05$,表 1)。

2. 病变组 L5 及 S1 神经根参数

20 例患者的患侧神经根(0.285 ± 0.026)FA 值低于健侧(0.319 ± 0.019);患侧神经根的不同层面 FA 值均低于健侧,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 2);ADC 值均高于健侧,结果有统计学意义($P < 0.05$,表 3)。患侧神经根不同层面之间 FA 及 ADC 值比较,中层 FA 值低于近端,远端低于中层,差异有统计学意义($P < 0.05$);中层 ADC 值高于近端,远端高于中层,结果有统计学意义($P < 0.05$)。

3. DTI-FT 影像表现

DTI-FT 重建 L₄、L₅ 及 S₁ 神经根纤维束:所有健

表 1 健康志愿者左右侧神经根不同层面平均 FA 值及 ADC 值

层面	近	中	远	F 值	P 值
右侧神经根					
FA	0.318±0.017	0.321±0.019	0.319±0.019	0.622	>0.05
ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	1.438±0.200	1.392±0.181	1.418±0.174	0.147	>0.05
左侧神经根					
FA	0.317±0.018	0.321±0.018	0.317±0.020	0.194	>0.05
ADC(×10 ⁻³ mm ² /s)	1.455±0.183	1.382±0.169	1.444±0.156	0.625	>0.05

表 2 腰间盘突出患者患侧及健侧神经根不同层面 FA 值				
层面	FA 值		t 值	P 值
	患侧	健侧		
近	0.303±0.022	0.319±0.019	-2.52	0.016
中	0.285±0.023	0.320±0.021	-5.01	0.019
远	0.270±0.021	0.318±0.020	-7.66	0.013

表 3 腰间盘突出患者患侧及健侧神经根不同层面 ADC 值				
层面	ADC 值(×10 ⁻³ mm ² /s)		t 值	P 值
	患侧	健侧		
近	1.631±0.197	1.421±0.198	3.36	0.020
中	1.802±0.223	1.409±0.145	6.58	0.018
远	1.931±0.208	1.439±0.202	7.59	0.012

康志愿者神经根纤维示踪 L₄、L₅ 及 S₁ 神经束显示完整,连续性好,走形自然,符合解剖。病变组 20 条受压神经根在突出椎间盘水平较对侧明显变形及稀疏。

讨 论

腰椎间盘突出症及腰椎管狭窄引起腰骶神经根卡压是骨科的多发病和常见病。同时以腰腿痛及放射性坐骨神经痛为主要及首发症状。Ropper 等^[4] 总结以前的研究认为腰间盘突出造成神经根压迫是放射性坐骨神经痛的主要原因,另一方面神经放射学证实 85% 的坐骨神经痛与腰间盘突出有关。腰骶神经压迫神经根引起坐骨神经痛的患者中,外科以神经根减压术、疼痛科以神经阻滞术作为主要治疗手段,因此准确地定位诊断受压的神经根,可以明显提高神经阻滞术的成功率,减少外科手术失败时对患者带来的创伤,能够准

确地直接定位受压神经根的显像方法及技术带来的临床意义尤为重要。

近年来,DTI 定量 FA 值及 ADC 值被应用于周围神经显示及神经压迫症的诊断研究(特别是正中神经及尺神经,最近应用于腰骶神经根)^[5-8],认为 FA 及 ADC 值是诊断神经卡压的有用工具及评估神经卡压严重性的潜在工具。Balbi 等^[9] 首先证实了 DTI 可以用来显示人的腰骶神经根,进而发现 FA 值及 ADC 值的大小与不同年龄、性别、神经根的左右侧、不同节段并无相关性。随后关于 DTI 对于腰骶神经根受压的研究中,显示受压侧的神经根较正常侧的神经根 FA 值降低,ADC 值升高,同时纤维束成像明显显示受压部位的神经根较健侧明显稀疏^[6-7,10]。大量的实验性研究认为长期的慢性受压及炎性介质的释放,造成神经根屏障的破坏,血管通透性的增加,最终造成神经周围小静脉淤血及神经纤维束内的水肿^[11-12]。此外,慢性压迫致使血流量减少,神经局部缺血,髓鞘代谢受损,继而神经发生脱髓鞘、华勒氏变性 & 神经内膜破裂。Balbi 等^[9] 认为这些微细结构的改变也许会增加轴突之间的距离,进而使神经内的垂直本征量增加,导致 FA 值降低,ADC 值增高。

在本研究中选取了与病例组年龄范围相仿的 20 例健康志愿者作为研究样本,测量其 L₅、S₁ 同一节段神经根的左右两侧及不同层面的 FA 值及 ADC 值,发

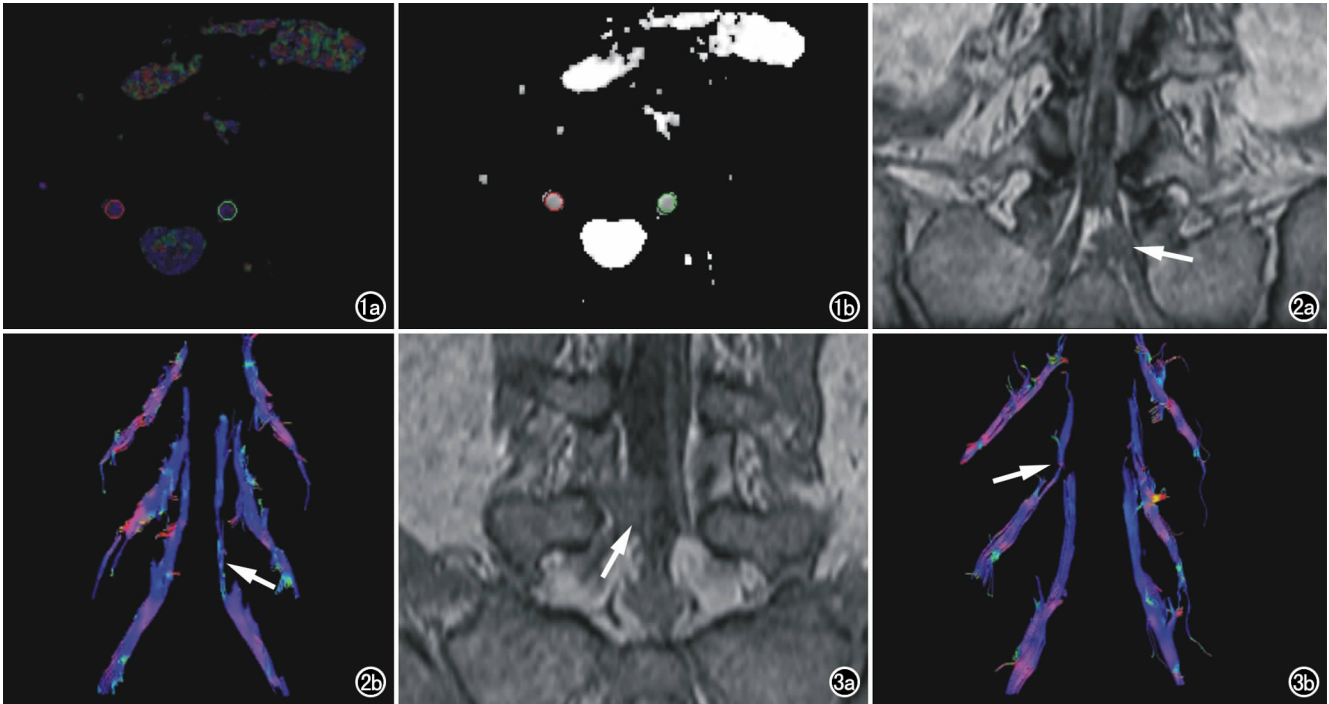


图 1 椎间孔水平神经根 FA 值及 ADC 值测量的 ROI 法示意图。a) FA 值测量; b) ADC 值测量。图 2 女,41 岁,L₅-S₁ 腰椎间盘突出。a) T₁-VIBE 冠状面示突出椎间盘压迫左侧 S₁ 神经根(箭); b) DTI-FT 图示左侧 S₁ 神经根较对侧明显稀疏(箭)。图 3 男,37 岁,L₄-L₅ 腰椎间盘突出。a) T₁-VIBE 冠状面示突出椎间盘压迫右侧 L₅ 神经根(箭); b) DTI-FT 图示右侧 L₅ 神经根较对侧明显受压变形(箭)。

现左右两侧及不同层面神经根的 FA 及 ADC 值差异无统计学意义,与最近文献报道结果相一致。腰椎间盘突出最常发生于 L₄—L₅、L₅—S₁ 椎间隙,进而引起邻近的下一节段神经根受压,本研究选取 L₄—L₅、L₅—S₁ 椎间盘突出引起单侧坐骨神经痛患者 20 例作为研究对象进行 DTI 定量分析自身对照性研究,纳入范围内的患者病程均为 2~6 个月,测量选取的 ROI 部位分别为椎间孔向内开口处(近侧)、椎间孔处(中层)、椎间孔向外开口处(远端)。统计结果显示受压侧神经根 FA 值低于未受压侧,神经根不同层面的 FA 值从近端至远端呈现出逐层递减的下降趋势,ADC 值呈现与 FA 值相反的趋势;同时健侧 FA 值不同层面间差异并无统计学意义。本研究中,FA 值从神经根近侧至远端逐渐递减可能与神经根不同层面的脱髓鞘程度及神经再生水平有关。神经根受压损伤后,最先发生的病理变化为华勒氏变性,即损伤平面远段的神经纤维全长以及近段神经纤维同时发生长度不等的髓鞘和轴突的崩解破坏。随后随着时间的进行,受损伤的近段神经纤维的轴突出芽、延伸,长入远端雪旺氏细胞索,使再生轴突再髓鞘化进而使受损的神经得到再生修复。脊神经膜血管循环环及脑脊液为神经根近侧提供营养支持,而远端神经根仅有周围神经束膜血管循环体系供养,营养物的供养相对匮乏。神经根在受压变性 & 神经再生的修复阶段,因血液交换条件的不同,腰骶神经根远端较近侧的营养供应基础差,脱髓鞘程度明显重于近侧,同时神经再生速度又慢于近侧。结果使受压变性神经根在再生修复阶段神经轴索数量沿神经走行近侧至远端呈现出逐层递减的生长形式。在 Lehmann 等^[13]进行的小鼠坐骨神经再生的组织学实验中验证了神经纤维束 FA 值的大小与组织学上观察到的神经纤维束变性 & 再生的轴索数量具有明显的相关性。慢性腰骶神经根受压进而轴索变性后,病变远近端神经轴索脱髓鞘程度 & 再生速度的不同导致不同层面正常神经轴索数量具有差异性,而这种差异反应通过检测水分子不同方向的运动而反应在 FA 值上,使 FA 值出现与神经轴索数量变化一致的从近侧到远端递减的趋势。

神经根 FT 相对于常规 MRI 在有症状侧神经根可以明显显示变形 & 稀疏,在神经卡压的患者中可以提供解剖定位,尤其是常规 MRI 结果与临床体征不一致时,对于手术计划的设定有一定帮助。

本研究仍存在以下不足:第一,病例数不足;第二,急性期神经根卡压 & 神经根病变随时间动态变化需进一步研究,同时对于术后金属植入的患者无法进行术后评价;第三,应在保证图像质量的前提下,尽可能减少的扫描时间,提高图像的信噪比。

总之,DTI 结合常规 MRI 检查对于定位诊断神经根压迫症提供了新的可使用的成像技术,利用常规 MRI 结合 DTI 定量评价损伤变性神经根更加敏感 & 准确,腰骶神经根 DTI-FT 可形象地显示神经纤维束的形态,结合背景融合图,可以形象显示病变 & 神经走行,尤其是当常规 MRI 结果与临床体征不一致时,对于临床制定治疗方案更加有利。

参考文献:

- [1] Ozlem S, Dilek Mete H, Ufuk S, et al. Motor conduction time along the cauda equina in patients with lumbar spinal stenosis[J]. Spine, 2009, 34(13): 1410-1414.
- [2] Burton CV, Kirkaldy-Willis WH, Yong-Hing K, et al. Causes of failure of surgery on the lumbar spine[J]. Clin Orthop Relat Res, 1981, 157(157): 191-199.
- [3] Lehmann HC, Jiangyang Z, Susumu M, et al. Diffusion tensor imaging to assess axonal regeneration in peripheral nerves[J]. Exp Neurol, 2010, 223(1): 238-244.
- [4] Ropper AH, Zafonte RD. Sciatica[J]. N Engl J Med, 2015, 372(13): 1240-1248.
- [5] Gustav A, White LM, Andrea K, et al. Evaluation of diffusion tensor imaging and fiber tractography of the median nerve: preliminary results on intrasubject variability and precision of measurements[J]. AJR, 2010, 194(1): W65-W72.
- [6] Eguchi Y, Ohtori S, Orita S, et al. Quantitative evaluation and visualization of lumbar foraminal nerve root entrapment by using diffusion tensor imaging: pre-liminary results[J]. AJNR, 2011, 32(10): 1824-1829.
- [7] Dallaudière B, Lincot J, Hess A, et al. Clinical relevance of diffusion tensor imaging parameters in lumbar disco-radicular conflict[J]. Diagn Interv Imaging, 2014, 95(1): 63-68.
- [8] 时寅, 王传兵, 刘伟, 等. 采用扩散张量成像定量研究 & 纤维束示踪成像观察正常腰骶丛神经[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(2): 135-138.
- [9] Balbi V, Budzik JF, Duhamel A, et al. Tractography of lumbar nerve roots: initial results[J]. Eur Radiol, 2011, 21(6): 1153-1159.
- [10] Li C, Wang Q, Xiao W, et al. 3.0T MRI tractography of lumbar nerve roots in disc herniation[J]. Acta Radiol, 2014, 55(8): 969-975.
- [11] Takahashi N, Yabuki S, Aoki Y, et al. Pathomechanisms of nerve root injury caused by disc herniation: an experimental study of mechanical compression & chemical irritation[J]. Spine, 2003, 28(5): 435-441.
- [12] Takagi T, Nakamura M, Yamada M, et al. Visualization of peripheral nerve degeneration & regeneration: monitoring with diffusion tensor tractography[J]. Neuroimage, 2009, 44(3): 884-892.
- [13] Lehmann HC, Jiangyang Z, Susumu M, et al. Diffusion tensor imaging to assess axonal regeneration in peripheral nerves[J]. Exp Neurol, 2010, 223(1): 238-244.

(收稿日期: 2015-11-27)