

磁共振扩散张量成像定量评估腰骶神经根压迫症

秦朗^{1,2}, 时寅¹, 刘继永³, 刘波¹, 张永杰^{2*}

¹南京医科大学第一附属医院放射科, 江苏 南京 210029; ²南京医科大学人体解剖学系, ³教务处, 江苏 南京 211166

[摘要] 目的:采用磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)技术,定量测量腰椎间盘突出相关腰骶丛神经根压迫症患者神经根各项异性分数(fractional anisotropy, FA)值,评估腰骶丛神经根DTI运用于腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫术前诊断与预后评价的潜在价值。方法:对34例单侧腰骶丛神经根压迫症患者行腰骶神经根DTI检查,并行扩散张量示踪成像(diffusion tensor tractography, DTT),定量腰骶丛神经根3个层面神经根FA值,均使用日本骨科协会下腰痛评估治疗分数(Japanese Orthopedic Association for the Assessment of Treatment for Low Back Pain, JOA)进行临床功能症状评分,并进行相关性分析研究。结果:扩散张量示踪成像DTT显像所示,神经根神经纤维束异常均与临床症状相符,患侧神经根远中近段神经根FA值不相等,神经根FA值由近端至远端递减,患侧远中近段神经根FA值均低于健侧,病变责任神经根FA值与术前临床JOA评分值有较高的相关性。结论:腰骶丛神经根DTI成像可定性评价腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症中责任神经根的损伤变性,并能通过神经根FA值,定量反映责任损伤神经根变性所致相应神经支配区域感觉异常及运动功能障碍。对于腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症的术前诊断及预后评价具有较重要的临床应用价值。

[关键词] 扩散张量成像;神经根病;脊神经根

[中图分类号] R445.2

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2018)12-1715-05

doi:10.7655/NYDXBNS20181211

Diffusion tensor imaging with quantitative evaluation in lumbosacral radiculopathy

Qin Lang^{1,2}, Shi Yin¹, Liu Jiyong³, Liu Bo¹, Zhang Yongjie^{2*}

¹Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of NMU, Nanjing 210029; ²Department of Human Anatomy, ³Department of Teaching Affairs, NMU, Nanjing 211166, China

[Abstract] **Objective:** To quantitatively evaluate nerve roots by measuring fractional anisotropy (FA) values in lumbar intervertebral disc related compression of lumbosacral plexus nerve roots by MR diffusion tensor imaging (DTI). To evaluate the potential value of DTI in preoperative diagnosis and prognosis evaluation of disc related lumbosacral nerve roots compression. **Methods:** Thirty-four unilateral disc related lumbosacral nerve roots compression patients underwent MR imaging using diffusion tensor tractography (DTT). FA values for nerve roots were calculated at three levels from DTI images. Japanese Orthopedic Association for the Assessment of Treatment for Low Back Pain (JOA) score and correlation analysis were performed on the clinical function of the patients. **Results:** The abnormalities of symptomatic nerve tracts were distinctly showed by tractography. On the symptomatic side of nerve roots, the mean FA values displayed a significant declining tendency from proximal to distal. The FA values of the symptomatic side of the nerve roots were significantly lower than those of the asymptomatic side at the proximal, medial and distal levels. The mean FA value of nerve roots correlated moderately with the JOA score. **Conclusion:** DTI imaging of the lumbosacral plexus nerve roots in lumbosacral nerve roots compression is related to the preoperative evaluation of responsible nerve roots compression of lumbar disc nerve roots. The diversities of nerve roots quantitative FA values reflect the degenerated nerve roots caused by the abnormal sensation and motion dysfunction.

[Key words] diffusion tensor imaging; radiculopathy; spinal nerve roots

[Acta Univ Med Nanjing, 2018, 38(12): 1715-1719]

[基金项目] 国家自然科学基金(81472081);国家自然科学基金青年基金(81100942);江苏省自然科学基金(BK2010539)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: zhangyongjie@njmu.edu.cn

腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症是临床最常见的周围神经病变^[1-2],临床症状主要包括相应神经支配区域疼痛,相应肌肉肌力下降及间歇性跛行等感觉与运动功能障碍。腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫术前感觉异常和运动功能评估可为治疗方案的选择及预后提供较多信息。常规磁共振腰椎检查已广泛应用于术前诊断腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症,然而该检查只能观察椎间盘及椎体的形态学改变,无法直接提供更多的神经根病变信息。腰骶丛神经根磁共振扩散张量(diffusion tensor imaging, DTI)检查可以定量评价神经根功能及重建显示病变的神经纤维束^[3]。

本研究利用DTI技术行术前定量测量及纤维束扩散张量示踪成像(diffusion tensor tractography, DTT)显示腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症患者损伤神经根,并结合临床功能评分,评估损伤腰骶神经根DTI与腰骶神经根压迫症相关感觉与运动功能改变的相关性,探讨腰骶丛神经DTI运用于腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫术前诊断与预后评价的潜在价值。

1 对象和方法

1.1 对象

2017年7—11月本院收治的临床专科检查诊断为单侧腰骶丛神经根压迫症患者34例,年龄31~61岁,平均年龄 (47.00 ± 3.23) 岁,其中男20例,女14例。临床症状及体征:腰骶丛神经支配区域间歇性疼痛,患下肢麻木、压痛、放射痛,步行引起患侧腰腿痛,患下肢肌肉萎缩、皮肤感觉减退、跟腱反射减弱或消失,直腿抬高试验阳性。患者纳入标准:①检查前未经任何腰椎外科手术治疗;②无MRI禁忌证;③检查前患者病程3个月以上;④经临床检查无任何脊髓病变;⑤患者单侧腰骶丛神经支配区域神经根压迫表现,无对侧或其他层面神经根压迫临床症状及体征;⑥无腰椎管狭窄;⑦腰椎旁软组织无其他炎症或肿瘤性疾病;⑧腰骶部及盆腔无任何金属植入物;⑨所有患者均行腰椎间盘突出切除术。

1.2 方法

1.2.1 检查

采用美国GE Signa 1.5T HDX超导型MR仪,信号采集选用腹部表面接收线圈。DTI扫描,采用单次激发自旋回波-回波平面(SS-SE-EPI)序列行轴位扫描,扫描参数:扩散敏感梯度取11个不同方向,扩散加权系数, $b_1=0$ s/mm², $b_2=800$ s/mm²,TR 6 500 ms,TE 80 ms,视野(FOV)42 cm×42 cm,矩阵128×96,层

数32,层厚5 mm,层间距0,标准体素大小3.28 mm×4.38 mm×5.00 mm,扫描时间6 min 7 s。扫描范围,最上方层面达到腰4神经根椎管内段起始层面(平L3椎体高度的一半),扫描范围涵盖腰4神经根至骶1神经根。

1.2.2 图像分析和测量

所有数据均存储在GE AW4.4工作站,DTI扫描数据采用GE Functool 6.3.1e软件进行腰骶丛神经根各向异性分数(FA)值定量测量及DTT腰骶丛神经根神经纤维束三维示踪成像。FA值定量测量采用ROI法^[4]。每根神经根选取3个ROI,分别位于该神经通过的相应椎间孔上、中、下端,上端为椎间孔向内开口处,下端为椎间孔向外开口处,中间为远近端ROI中间,每对神经根健患侧ROI均取自同一层面。每个ROI的面积大小控制在25~50 mm²,以避免在测量FA值时产生的部分容积效应影响测量结果。

为了避免脑脊液、周围肌肉组织肌纤维束、空腔脏器内水分及其他信号干扰,将数据处理软件中的FA值阈值设为下界250,上界3 000。每个DTI扫描数据均由2位经过培训的放射专业医师分别独立进行一次分析操作,所得结果取平均值。对腰骶丛神经根神经纤维束示踪重建,评价重建的神经纤维束形态是否正常,是否出现狭窄、稀疏或中断。

1.2.3 临床评分

所有腰骶丛神经根压迫症患者术前功能评分均使用日本骨科协会下腰痛评估治疗分数(JOA)进行临床功能症状评分^[5],术后6个月复查时再次行术后JOA评分。JOA评分由2名经过培训的脊柱外科医师分别独立完成,所得结果取平均值。JOA改善指数计算,改善指数=治疗后评分-治疗前评分,治疗后评分改善率(%)=[(治疗后评分-治疗前评分)/(29-治疗前评分)]×100%。改善率为100%时为治愈,改善率>60%为显效,25%~60%为有效,<25%为无效。

1.3 统计学方法

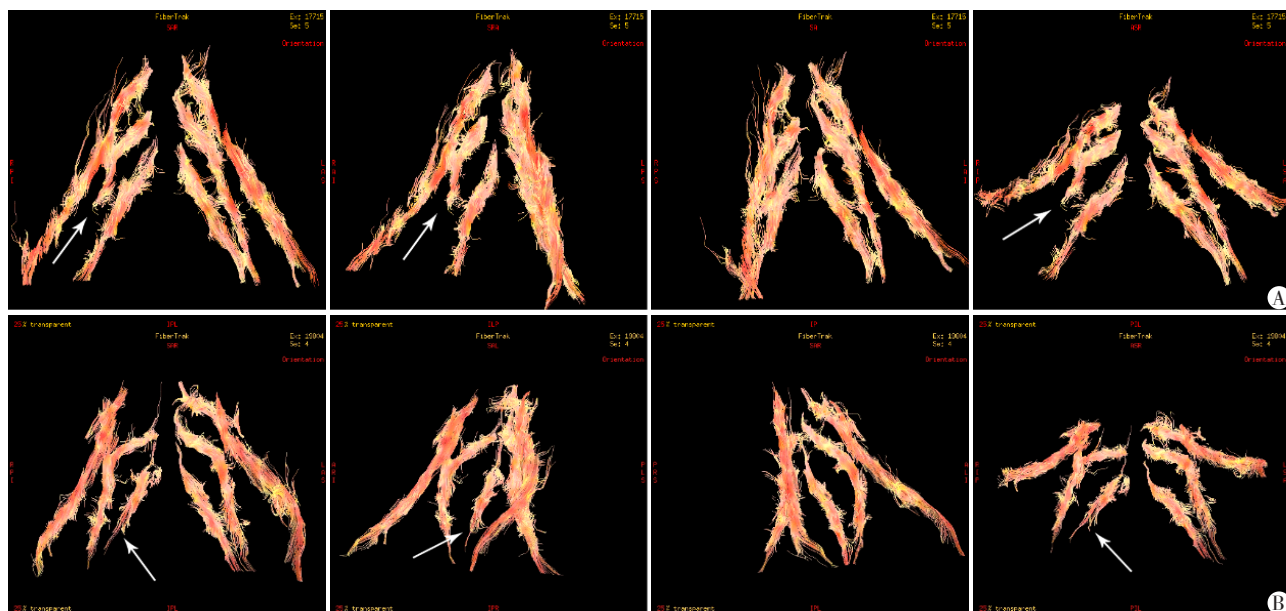
采用SPSS 13.0软件进行统计分析。所有数据采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)形式表达,单个节段远中近3个层面神经根FA值选用ANOVA单因素方差分析,两两比较采用SNK法检验,相同层面健、患侧神经根FA值及神经根远、中、近端FA值比较采用配对 t 检验法。所有患者临床功能JOA评分与神经根FA值相关性分析均采用Pearson法。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。线性回归曲线的绘制通过使用Graph-Pad Prism统计分析软件进行(GraphPad Software,美国)。

2 结果

2.1 34例腰骶丛神经纤维束DTT显像

19例单侧L5神经根神经纤维束出现异常,含神经纤维束变窄、稀疏及中断,15例单侧S1神经根神

经纤维束出现异常,含神经纤维束变窄、稀疏及中断(图1)。34例腰骶丛神经纤维束DTT显像所示神经根神经纤维束异常均与临床症状患侧及神经根节段相符合。所有病例均未见L5、S1神经根神经纤维束同时出现异常状况。



A: 右侧L5神经根神经纤维束稀疏中断; B: 右侧S1神经根神经纤维束稀疏变窄中断(白箭)。

图1 腰骶丛神经根神经纤维束示踪成像示意图

Figure 1 Diffusion tensor tractogram of lumbosacral plexus nerve

2.2 腰骶丛神经根FA值比较

患侧远中近段神经根FA值平均值分别为,远段 0.183 ± 0.024 , 中段 0.207 ± 0.030 , 近段 0.227 ± 0.047 。患侧神经根远中近段神经根FA值不相等,神经根FA值由近端至远端递减,结果有统计学意义($P < 0.05$)。健侧远、中、近段神经根FA值平均值分别为,远段 0.266 ± 0.028 , 中段 0.291 ± 0.030 , 近段 0.281 ± 0.027 。健侧神经根远、中、近段3个不同层面神经根FA值未出现明显统计学差异(图2)。同时,患侧远、中、近各段的神经根FA值均低于健侧的相应节段,结果有统计学意义(近端 $P < 0.05$, 中段及远端 $P < 0.01$, 图3)。

2.3 临床症状评分。

术前JOA评分总评分平均值为 14.41 ± 2.94 , 术后JOA评分总评分平均值为 26.00 ± 0.45 , 治疗后评分改善率平均值为 $(78.39 \pm 6.50)\%$ 。34例中,33例显效(治疗后评分 $> 60\%$),1例有效(治疗后评分 $25\% \sim 60\%$)。

2.4 患侧神经根不同节段FA值与JOA评分相关性比较

神经根FA值与JOA评分均呈正态分布。神经

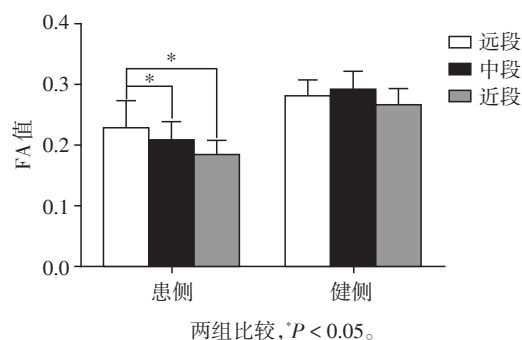


图2 患侧与健侧神经根远中近段神经根FA值统计图

Figure 2 The mean FA values of the proximal, medial, and distal segment of nerve roots from the symptomatic and asymptomatic side of nerve roots

根近段FA值及JOA评分相关系数($r=0.579, P < 0.05$),神经根中段FA值及JOA评分相关系数($r=0.788, P < 0.05$),神经根远段FA值及JOA评分相关系数($r=0.789, P < 0.05$,图4)。

3 讨论

腰椎间盘突出相关神经根压迫症术前诊断首先是

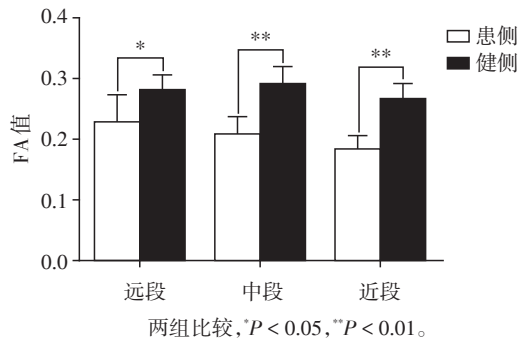
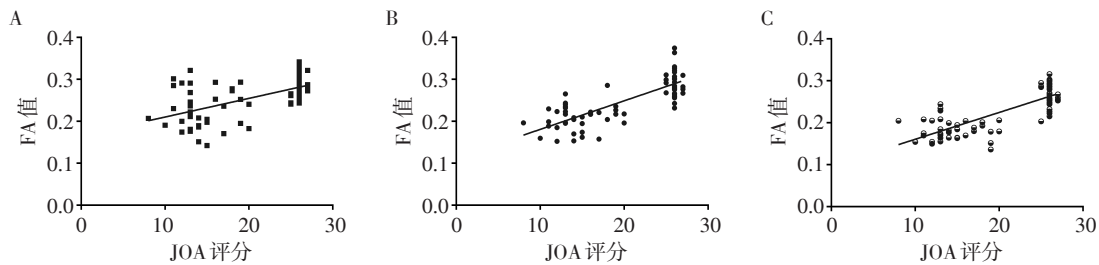


图3 患侧远中近段神经根FA值均显著低于健侧相应节段
 Figure 3 The FA values of the symptomatic side of the nerve roots were significantly lower than those of the asymptomatic side at the proximal, medial and distal levels



A: 神经根近段FA值及JOA评分相关系数($r=0.579, P < 0.05$); B: 神经根中段FA值及JOA评分相关系数($r=0.788, P < 0.05$); C: 神经根远段FA值及JOA评分相关系数($r=0.789, P < 0.05$)。

图4 神经根近中远段FA值与JOA评分的相关系数

Figure 4 The mean FA value of nerve root was correlated moderately with JOA score at the proximal, medial, and distal segment

神经根变性是导致相应神经支配区域感觉异常及运动功能障碍的直接因素。研究显示引起椎间盘相关神经根压迫症神经根变性的主要原因有化学物质刺激、直接机械压迫及血供营应不良等^[9],常规磁共振直接从形态学角度观察,并不能较准确地评价诊断神经根,这不仅因为常规磁共振无法准确判别神经直接机械受压的程度,还因为机械压迫只是神经根压迫症神经根损伤变性致病因素之一^[10]。相关研究显示磁共振观察到的压迫征象与临床症状并无显著相关性。

DTI可以检测到神经纤维束中水分子的定向运动,有利于评价神经纤维组织的功能状态^[11]。周围神经根损伤变性导致神经根水肿髓鞘改变影响其内水分子沿神经纤维束的定向运动^[12]。各项异性分数FA值反映水分子各项异性运动成分所占比例,目前多应用于DTI定量FA值研究周围神经损伤^[13]。利用DTI各项异性分数FA值可以定量评价腰骶丛神经根功能状态,分辨变性与健康神经根^[3,14]。对于腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症相应感觉异常及运动功能障碍等临床症状,本研究中引入日本骨

定位,明确累及神经节段并判定责任神经根^[6]。常规磁共振腰椎检查可以发现椎间盘突出、椎管狭窄、黄韧带增厚等导致神经根受压的形态学改变,然而间接通过形态学改变和神经根相对关系判定神经根受压,应用于评价神经根受压损伤确定责任神经根存在一定假阳性率及假阴性率,不能准确定位责任神经根^[7]。本研究利用DTI神经根示踪成像^[8],重建腰骶丛神经纤维束,直接显示受损责任神经根神经纤维束,结果与临床专科检查累及区域相符。

腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症主要临床症状包括相应神经支配区域疼痛,相应肌肉肌力下降及间歇性跛行等感觉异常和运动功能障碍。责任

科协会下腰痛评估治疗分数JOA评分系统进行临床功能定量评分^[15]。以往临床诊断腰骶神经根压迫症缺乏量化的标准,往往通过患者的主诉及体格检查综合判断。可以定性诊断,但无法将患者的病情归纳统计量化,不利于准确评估患者术前病情及预后疗效。JOA评分系统中对应的主客观感觉评分及运动功能评分,可以较客观地将腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症所致感觉异常及运动功能障碍量化评分,有利于患者术前病情量化评估及术后疗效精准评判。

本研究中病变神经根FA值显著低于对侧健康神经根,提示相应责任神经根变性,且病变责任神经根FA值与术前临床JOA评分值有较高相关性。以上结果提示DTI不仅可以定性评价腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症中责任神经根损伤变性,还能定量反映责任损伤神经根变性所致相应神经支配区域感觉异常及运动功能障碍。

同时,本研究由于受制于传统腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症的治疗均使用金属内固定的手术方式,所以无法进行术后DTI神经根定量评价与术

后临床功能评分的相关性研究。

综上所述,腰骶丛神经根DTI结合神经根OTT技术可以通过神经根定量评估与神经根神经纤维束成像,准确判定腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症中的责任神经根,且神经根定量FA值变化可反映损伤变性神经根所致感觉异常及运动功能障碍等临床改变。在腰椎间盘突出相关腰骶神经根压迫症术前诊断与预后评价中具有重要临床应用价值。

[参考文献]

- [1] Konstantinou K, Dunn KM. Sciatica: review of epidemiological studies and prevalence estimates[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33(22): 2464-2472
- [2] El Barzouhi A, Vleggeert-Lankamp CL, Lycklama À Nijeholt GJ, et al. Magnetic resonance imaging interpretation in patients with sciatica who are potential candidates for lumbar disc surgery[J]. *PloS One*, 2013, 8(7): e68411-e68422
- [3] Shi Y, Zong M, Xu X, et al. Diffusion tensor imaging with quantitative evaluation and fiber tractography of lumbar nerve roots in sciatica[J]. *Eur J Radiol*, 2015, 84(4): 690-695
- [4] 时 寅,王传兵,刘 伟,等. 采用扩散张量成像定量研究及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
- [5] Osawa T, Ogura T, Hayashida T, et al. Evaluation of lumbosacral nerve root lesions using evoked potentials recorded by a surface electrode technique[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(5): 496-501
- [6] Iwasaki H, Yoshida M, Yamada H, et al. A new electrophysiological method for the diagnosis of extraforaminal stenosis at L5-S1[J]. *Asian Spine J*, 2014, 8(2): 145-149
- [7] Oikawa Y, Eguchi Y, Inoue G, et al. Diffusion tensor imaging of lumbar spinal nerve in subjects with degenerative lumbar disorders[J]. *Magn Reson Imaging*, 2015, 33(8): 956-961
- [8] Li CT, Wang QZ, Xiao WF, et al. 3.0T MRI tractography of lumbar nerve roots in disc herniation[J]. *Acta Radiologica*, 2014, 55(8): 969-975
- [9] Yasuaki I, Tsukasa K, Hidenori S, et al. Cauda equina conduction time determined by f-waves in normal subjects and patients with neurogenic intermittent claudication caused by lumbar spinal stenosis[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2017, 34(2): 132-138
- [10] Ghanei I, Rosengren BE, Hasserijs R, et al. The prevalence and severity of low back pain and associated symptoms in 3 009 old men[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(4): 814-820
- [11] Lehmann HC, Zhang J, Mori S, et al. Diffusion tensor imaging to assess axonal regeneration in peripheral nerves[J]. *Exp Neurol*, 2010, 223(1): 238-244
- [12] Adams A, Roche O, Mazumder A, et al. Imaging of degenerative lumbar intervertebral discs; linking anatomy, pathology and imaging[J]. *Postgrad Med J*, 2014, 90(1067): 511-519
- [13] Oikawa Y, Eguchi Y, Inoue G, et al. Diffusion tensor imaging of lumbar spinal nerve in subjects with degenerative lumbar disorders[J]. *Magn Reson Imaging*, 2015, 33(8): 956-961
- [14] 时 寅,王德杭,宗 敏,等. 磁共振扩散张量成像定位及定量评价腰骶神经根压迫症[J]. *临床放射学杂志*, 2014, 33(8): 1229-1232
- [15] C Jha S, Higashino K, Sakai T, et al. Clinical significance of high-intensity zone for discogenic low back pain: A Review[J]. *J Med Invest*, 2016, 63(12): 1-7

[收稿日期] 2018-03-29