

磁共振弥散张量成像评估脊髓病变的临床应用进展

Advancement of MR diffusion tensor imaging
in evaluating spinal cord disease

郑沁文, 谭晓天

(辽宁省大连市中心医院放射科 116033)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.09.16

中图分类号: R744, R445.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2013)-09-0849-03

常规 MRI 可以清晰显示脊髓占位、水肿、出血或受压等征象,成为目前临床诊断脊髓病变的重要手段,但对脊髓微结构及病变真实范围显示的敏感性低,与神经功能缺失程度不符,损伤程度难以量化,且对纤维束的受损情况无法直观显示^[1]。磁共振弥散张量成像(MR-diffusion tensor imaging, MR-DTI)技术是在弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)基础上发展起来的,着重研究活体内水分子的扩散特性,以三维立体角度分解、量化组织弥散各向异性的信号数据,使微结构显示更加精细,并通过纤维束追踪成像(fiber tractography, FT)技术重建纤维束微观方向图,分析中枢神经纤维网络的完整性和方向性。已经证实了 MR-DTI 及白质纤维束图能准确反映脑内星形细胞瘤的病变范围,对术前方案制定,帮助最大范围切除病灶、保留功能区、减少术中不良反应有重要意义^[2]。如何提高脊髓 MR-DTI 质量,并有效应用其评估脊髓病变,已经成为国际研究热点,现对 MR-DTI 技术在脊髓肿瘤、损伤、炎症、先天性病变等疾病中的应用进展综述如下。

1 脊髓 MR-DTI 的原理与方法

活体中水分子不停地进行布朗运动,当受到细胞膜、细胞器及周围细胞结构的阻挡时,其弥散的方向和距离各不相同,这种具有很强依赖性的弥散方式就是弥散张量成像的基础^[3]。众所周知, MRI 是诊断脊髓病变的重要手段。张星虎总结了多年来国际诊断多发性硬化(MS)及视神经脊髓炎(NMO)的标准,一再强调常规 T2WI 中脊髓病灶的数量及范围,对于确诊至关重要^[4]。然而在目前临床工作中,微观显示并定量分析脊髓病灶的方法并未广泛应用,原因是脊髓体积小,横截面窄,成像时灰、白质分辨不清,加上脑脊液波动伪影,呼吸、心跳伪影,脂肪和周围骨组织的磁化率伪影均会影响其成像质量^[5]。研究表明,DTI 易采用高场强磁共振,应用单次激发自旋回波平面回波成像(SE-EPI)序列,可有效降低生理运动(如心跳、呼吸及脑脊

液搏动)的影响,所测得的弥散系数准确性较高,图像质量最佳^[6]。Lee 等^[7]对 40 个志愿者行脊髓颈段矢状位 MR-DTI (要求其平静呼吸,尽量避免吞咽动作),分析比较后理想的参数为: $b=900s/mm^2$ 、15 个方向、5 次激发、4mm 层厚(b 值为弥散敏感系数,是弥散成像的重要参数)。这些宝贵的参数及成像方案,对于今后采用 MR-DTI 分析研究脊髓病变有重要参考价值。

已有大量临床研究表明 MR-DTI 在分析诊断脊髓病变微结构变化中具有重要作用,尤其是各向异性分数(fractional anisotropy, FA)和表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC),它们在多种病变中均有很高的敏感性和特异度^[8-11]。ADC 值反映分子弥散水平和弥散阻力,只表示弥散能力的大小,而与方向无关;FA 值反映的是分子在空间位移的程度,与弥散方向有关。

2 MR-DTI 评估脊髓病变的临床应用

2.1 脊髓肿瘤

随着医学技术进步,如何准确了解髓内肿瘤位置,无创分析其解剖结构,最大限度切除瘤体,保留正常结构,成为学术研究热点。Ducreux 等^[12]通过对 5 例脊髓星形细胞瘤患者 FA 值的测定,并追踪了脊髓丘系及皮质脊髓束走行趋势,得出白质纤维束与肿瘤实体的分界,为手术范围的划定提供了重要依据。Liu 等^[13]主张,无创性区分高级别胶质瘤与肿瘤样脱髓鞘病变(tumefactive demyelinating lesion, TDL)至关重要,这样不仅可以针对疾病制定优选方案,更可以避免不必要的尝试性治疗,为此他们将 MR-DTI 引入临床,高级别胶质瘤病变区的 FA 值为 0.407,而脊髓炎性病变的 FA 值为 0.588,由于 FA 值与神经纤维束的损害程度呈负相关,可以从病理角度推测脊髓病变性质。由此可见 MR-DTI 的重要功能参数 FA 值对于定量分析髓内肿瘤与脱髓鞘病变方面有重要参考价值。

2.2 脊髓脱髓鞘疾病及炎症

脊髓脱髓鞘病变及炎症病因复杂,目前临床检测手段有限,常规 MRI 虽为重要辅助诊断方法,但是其只能粗略反映病灶数量和脊髓形态,对于真实病变范围与神经功

第一作者简介:女(1980-),主治医师,医学硕士,研究方向:影像医学与核医学

电话:(0411)84412001-8256 E-mail: dtdoudou@163.com

能缺失程度相关性的评价尚有不足。通过国内外研究证实,MR-DTI 可以一定程度上弥补这一缺陷。Hesseltine 等^[15]研究发现,在反复发作多发性硬化患者常规 MRI 表现正常的脊髓层面,MR-DTI 各参数在脊髓侧方、前方及中心值与正常人之间有显著差异;并在判断复发性多发性硬化的 NASC(normal-appearing spinal cord)区,其敏感性和特异性分别达到 87%和 91.7%。Ohgiya 等^[16]发现 MS 患者病变部位及常规 MRI 显示“正常”的白质纤维束(NAWM)的 FA 值及 ADC 值较对照组均有明显变化。Guleria 等^[17]认为,DTI 参数的短暂变化说明脊髓内皮质脊髓束仍有进行性损害,而且如果受损神经纤维继续发生华勒氏变性同时伴有残存白质纤维的重构,那么脊髓损伤患者未来的神经功能将会发生改变。另有研究表明,急性横断性脊髓炎患者的病变区 FA 值与远端 NAWM 的 FA 值较正常组均有不同程度下降,并认为后者的下降可能直接影响临床预后并与临床神经功能缺失程度有关^[18]。由此得出,MR-DTI 是一种有效准确评价脊髓病变的手段,其参数变化与患者真实病变范围及神经功能缺失情况有着良好的相关性,并且较常规 MRI 更敏感,这些对于监测脊髓病理改变、评价预后、监控病情进展上有积极意义。Klawiter 等^[19]发现 NMO(neuromyelitis optica)患者的径向扩散系数(radial diffusivity, RD)明显低于 MS 患者,说明 NMO 患者纤维束受累或损伤程度较 MS 患者严重。随着对疾病认识的深入,国际已将 NMO 从 MS 中区分出来,并为两者制定了独立的诊断标准^[20,21],但由于多发性硬化临床及影像学表现的多样化,要区分两者仍存在困难,但通过对比 MR-DTI 的 RD 参数,为鉴别诊断提供一定帮助。肌萎缩侧索硬化症(amyotrophic lateral sclerosis, ALS)是一个渐进和致命的神经退行性疾病。而 MR-DTI 在评定该疾病进展及疗效评价中也有其独特优势。多名国外学者证实,ALS 患者的 FA 值和平均弥散(mean diffusion, MD)值较对照组相比明显下降,但是脊髓内病变与脑内病变相互独立,随着病程进展,病变不存在向远端蔓延或向周围侵袭改变,由此他们推测在 ALS 中不存在病变远端正常神经纤维髓鞘受累或华勒氏变性^[22,23]。

2.3 脊髓损伤

脊髓损伤造成不同程度的四肢瘫或截瘫,继发多系统、多器官功能紊乱,出现各种并发症(泌尿系感染、痉挛、下肢深静脉血栓、截瘫神经痛、自主神经反射亢进等),严重影响患者生命及生存质量,尽早诊断及积极有效治疗对预后具有重要意义^[24,25]。Ellingson 等^[26]通过对 4 例脊髓损伤患者从急性期到慢性期的全程追踪随访,无论纵向或是横向,损伤区域的 FA 值均明显下降,且慢性期脊髓萎缩区域与 DTI 的 FA 值降低区域完全吻合。另有国外学者对慢性脊髓损伤(脊髓型颈椎病)进行的 DTI 研究发现,慢性损伤患者的 FA 值明显减低,这些都提示了脊髓损伤的慢性期神经纤维逐渐坏死溶解,最后瘢痕形成,造成脊髓体积缩小,成纤维成分增加^[27,28]。Mulcahey 等^[29]对 10 例

颈髓损伤患者行常规 MRI 扫描及 MR-DTI 扫描对照发现,MD、AD、RD 值与其中 4 例患者的脊髓损伤神经学分类国际标准(international standards for neurological classification of SCI, ISNCSCI)值之间呈负相关性,而 FA 值则与 5 例患者的 ISNCSCI 值之间呈正相关。这证明了 MR-DTI 较常规 MRI 更敏感,且与 ISNCSCI 有着良好的相关性,而 FA 值对于判断脊髓损伤的慢性期病变范围及分期有重要作用。Kim 等^[30]通过对脊髓损伤患者 28 个月的追踪随访,并记录了脊髓损伤区域皮质脊髓束的走行及纤维结构完整性,发现患者运动功能的恢复情况是由皮质脊髓束的损伤程度及恢复情况所决定的。这些都可以通过重建白质纤维束图来直观体现。

2.4 脊髓先天性疾病

脊髓纵裂病因不清,一般认为系在胚胎发生和发育过程中脊椎任何部位神经管发育不成熟而使之未能完全闭合导致的脊髓畸形。Filippi 等^[31]将脊髓纵裂患者采用 3T 常规 DTI 扫描和 DTI 纤维束重建后,认为该方法能确定先天性低位脊髓病变的性质及范围,并对手术方案的制定具有重要意义。

2.5 脊髓其他疾病

Hatem 等^[32]将 MR-DTI 及 FT 应用于脊髓空洞症患者,结果发现病变组的 FA 值较对照组明显减低,而 ADC 值与对照组相比差异无显著性,FA 值减低的脊髓节段与神经功能缺失及皮肤冷感觉异常区域对应的脊髓节段一致,且与激光诱发电位参数值之间有着良好的相关性。另有学者将 MR-DTI 检测脊髓缺血的变化,结果表明脊髓缺血患者存在潜在损伤区域,这可能与华勒氏变性有关,且缺血侧脊髓的 FA 值较对侧及正常对照组均明显减低,ADC 值则表现为升高,他们认为这一结果对脊髓缺血患者的预后评估有重要作用^[33]。

虽然 DTI 技术已经逐步在临床应用,但在应用中尚存在较多问题,如成像技术不够成熟,后处理技术需进一步完善。相信随着磁共振成像技术的改进及后处理软件的不开发利用,脊髓 DTI 研究将会进一步发展,为脊髓疾病早期诊断和预后评估提供有力的影像学依据。

3 参考文献

1. Schwartz ED, Hackney DB. Diffusion-weighted MRI and the evaluation of spinal cord axonal integrity following injury and treatment[J]. Exp Neurol, 2003, 184(2): 570-589.
2. Bello L, Gambini A, Castellano A, et al. Motor and language DTI Fiber Tracking combined with intraoperative subcortical mapping for surgical removal of gliomas[J]. Neuroimage, 2008, 39(1): 369-382.
3. 陈楠, 秦文, 李坤成. 脊髓弥散成像的技术特点及临床应用[J]. 医学影像学杂志, 2006, 16(6): 635-639.
4. 张星虎. 多发性硬化的临床诊断[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12(2): 122-126.

5. 李小圳, 金征宇. 扩散磁共振成像和纤维束示踪成像在脊髓成像中的临床应用[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26(1): 181-183.
6. Tsuchiya K, Fujikawa A, Honya K, et al. Diffusion tensor tractography of the lower spinal cord[J]. *Neuroradiology*, 2008, 50(3): 221-225.
7. Lee JW, Kim JH, Kang HS, et al. Optimization of acquisition parameters of diffusion-tensor magnetic resonance imaging in the spinal cord[J]. *Invest Radiol*, 2006, 41(7): 553-559.
8. Shanmuganathan K, Gullapalli RP, Zhuo J, et al. Diffusion tensor MR imaging in cervical spine trauma [J]. *Am J Neuroradiol*, 2008, 29(4): 655-659.
9. Ozanne A, Krings T, Facon D, et al. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in spinal cord arteriovenous malformations: a preliminary study[J]. *Am J Neuroradiol*, 2007, 28(7): 1271-1279.
10. 郑奎宏, 马林, 郭勇, 等. 颈髓软化扩散张量成像的初步研究[J]. 中国医学影像技术, 2005, 21(7): 1003-1005.
11. Bosma R, Stroman PW. Diffusion tensor imaging in the human spinal cord: development, limitations, and clinical applications[J]. *Crit Rev Biomed Eng*, 2012, 40(1): 1-20.
12. Ducreux D, Lepeintre JF, Fillard P, et al. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in 5 spinal cord astrocytomas[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2006, 27(1): 214-216.
13. Kovanlikaya I, Firat Z, Kovanlikaya A, et al. Assessment of the corticospinal tract alterations before and after resection of brainstem lesions using Diffusion Tensor Imaging(DTI) and tractography at 3T[J]. *Eur J Radiol*, 2011, 77(3): 383-391.
14. Liu X, Germin BI, Ekholm S. A case of cervical spinal cord glioblastoma diagnosed with MR diffusion tensor and perfusion imaging[J]. *J Neuroimaging*, 2011, 21(3): 292-296.
15. Hesselstine SM, Law M, Babb J, et al. Diffusion tensor imaging in multiple sclerosis: assessment of regional differences in the axial plane within normal-appearing cervical spinal cord[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2006, 27(6): 1189-1193.
16. Ohgiya Y, Oka M, Hiwatashi A, et al. Diffusion tensor MR imaging of the cervical spinal cord in patients with multiple sclerosis[J]. *Eur Radiol*, 2007, 17(10): 2499-2504.
17. Guleria S, Gupta RK, Saksena S, et al. Retrograde Wallerian degeneration of cranial corticospinal tracts in cervical spinal cord injury patients using diffusion tensor imaging [J]. *J Neurosci Res*, 2008, 86(10): 2271-2280.
18. Lee JW, Park KS, Kim JH, et al. Diffusion tensor imaging in idiopathic acute transverse myelitis [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 191(2): W52-57.
19. Klawiter EC, Xu J, Naismith RT, et al. Increased radial diffusivity in spinal cord lesions in neuromyelitis optica compared with multiple sclerosis[J]. *Mult Scler*, 2012, 18(9): 1259-1268.
20. Polman CH, Reingold SC, Banwell B, et al. Diagnostic criteria for multiple sclerosis: 2010 revisions to the McDonald criteria[J]. *Ann Neurol*, 2011, 69(2): 292-302.
21. Wingerchuk DM, Lennon VA, Pittock SJ, et al. Revised diagnostic criteria for neuromyelitis optica[J]. *Neurology*, 2006, 66(10): 1485-1489.
22. Agosta F, Rocca MA, Valsasina P, et al. A longitudinal diffusion tensor MRI study of the cervical cord and brain in amyotrophic lateral sclerosis patients[J]. *J Neurol Neuro-surg Psychiatry*, 2009, 80(1): 53-55.
23. Nair G, Carew JD, Usher S, et al. Diffusion tensor imaging reveals regional differences in the cervical spinal cord in amyotrophic lateral sclerosis[J]. *Neuroimage*, 2010, 53(2): 576-583.
24. Bosma R, Stroman PW. Diffusion tensor imaging in the human spinal cord: development, limitations, and clinical applications[J]. *Crit Rev Biomed Eng*, 2012, 40(1): 1-20.
25. 陈雷, 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.
26. Ellingson BM, Ulmer JL, Schmit BD. Morphology and morphometry of human chronic spinal cord injury using diffusion tensor imaging and fuzzy logic[J]. *Ann Biomed Eng*, 2008, 36(2): 224-236.
27. Mamata H, Jolesz FA, Maier SE. Apparent diffusion coefficient and fractional anisotropy in spinal cord: age and cervical spondylosis-related changes [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2005, 22(1): 38-43.
28. Facon D, Ozanne A, Fillard P, et al. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in spinal cord compression [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2005, 26(6): 1587-1594.
29. Mulcahey MJ, Samdani A, Gaughan J, et al. Diffusion tensor imaging in pediatric spinal cord injury: preliminary examination of reliability and clinical correlation[J]. *Spine*, 2012, 37 (13): E797-803.
30. Kim JH, Loy DN, Wang Q, et al. Diffusion tensor imaging at 3 hours after traumatic spinal cord injury predicts long-term locomotor recovery[J]. *J Neurotrauma*, 2010, 27(3): 587-598.
31. Filippi CG, Andrews T, Gonyea JV, et al. Magnetic resonance diffusion tensor imaging and tractography of the lower spinal cord: application to diastematomyelia and tethered cord[J]. *Eur Radiol*, 2010, 20(9): 2194-2199.
32. Hatem SM, Attal N, Ducreux D, et al. Assessment of spinal somatosensory systems with diffusion tensor imaging in syringomyelia[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2009, 80 (12): 1350-1356.
33. Lindberg PG, Bensmail D, Bussell B, et al. Wallerian degeneration in lateral cervical spinal cord detected with diffusion tensor imaging in four chronic stroke patients[J]. *Neuroimaging*, 2011, 21(1): 44-48.

(收稿日期:2012-10-29 末次修回日期:2013-07-16)

(本文编辑 彭向峰)