文章编号:1000-5404(2005)23-2379-03

论著

磁共振扩散张量成像在颅脑疾病的初步应用

邱明国,王 健,谢 兵,巫北海 (第三军医大学西南医院放射科,重庆 400038)

提 要:目的 评价磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI)在颅脑疾病中的临床应用价值。**方法** 采用Siemens 1.5T MRI成像系统对6名健康志愿者以及6名神经系统疾病患者脑部进行常规T_1WI、T_2WI MRI检查及扩散张量成像,采用DtiStudio软件对DTI图像进行分析处理,显示脑白质纤维,并测量肿瘤周围白质及健侧对应区域的部分各向异性(fractional anisotropy, FA)值。**结果** 扩散张量FA图可清楚显示脑白质内大部分主要的白质纤维束。3例缺血性脑卒中患者可观察到锥体束不同程度的中断。3例脑肿瘤患者可以观察到锥体束、胼胝体或内囊、外囊受压、移位及浸润破坏,周围白质纤维被浸润破坏后FA值较健侧明显降低。**结论** 扩散张量成像可在活体内清楚显示脑白质纤维束的受损和移位,有利于临床制订手术方案和对预后功能恢复进行评估。

关键词:磁共振成像;扩散张量成像
中图法分类号:R445.2;R742.04 **文献标识码**:A

Clinical application of diffusion tensor imaging in diagnosis of craniocerebral diseases

QIU Ming-guo, WANG Jian, XIE Bing, WU Bei-hai (Department of Radiology, Southwest Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

Abstract: Objective To value the clinical application of diffusion tensor imaging (DTI) in cerebral diseases. **Methods** Six volunteers and 6 patients (including 3 patients with ischemic stroke and 3 patients with glioma) were examined by DTI and T1-weighted, T2-weighted MR scan. All data were processed with DtiStudio software to show the white matter fiber tracts. The fractional anisotropy (FA) of the diffusion tensor were measured between the affected and the unaffected side. **Results** The white matter fiber tract could be observed clearly on the FA map. The pyramidal tract with different degree disruption could be showed in 3 patients with ischemic stroke. Compression, displacement, infiltration or destruction of pyramidal tract, corpus callosum or internal capsule and external capsule could be seen in 3 patients with glioma, and FA was significantly reduced on the affected side as compared to the unaffected side. **Conclusion** Diffusion tensor imaging is useful in observing the damage and displacement of the white matter fiber tracts *in vivo*, beneficial to the surgical plan for patients and prognosing recovery of function.

Key words: magnetic resonance imaging; diffusion tensor imaging

扩散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI)是近年来发展起来的一项磁共振新技术,可以显示白质纤维束走行,反映白质纤维束的病理状态及其与邻近病变的解剖关系[1]。DTI使用多个方向的扩散梯度,并分别采集数据,从而得到各方向的扩散本征值,通过计算得到体素内各向异性扩散的数据,可用于脑组织内水的各向异性扩散检测。其中部分各向异性图(fractional anisotropy map, FA)可勾画出脑白质内主要纤维束的分布,FA值是扩散张量成像反映水分子扩散程度的一个公认的指标,可在一定程度上反映脑白质纤维的微细结构和走行的一致性[2]。在国外DTI在脑白质病变的临床和科研中得到越来越多的应用和重视,而在国内有关DTI临床应用的报道还不多见。本研究在对正常人的扩散张量成像DTI图像分析基础上,对我院DTI在临床的初步应用进行总结,以期为临床诊疗提供客观依据。

1 材料与方法

1.1 资料采集

对西南医院神经内科2004年10-12月经治的6例神经系统病变的患者,行常规MRI和DTI检查。该6例患者临床诊断明确,其中胶质瘤3例,亚急性脑梗死2例,慢性脑梗死1例。

作者简介:邱明国(1970-),男,四川省南部县人,博士,副教授,主要从事脑功能成像及断层影像解剖方面的研究。电话:(023)68753708,E-mail: qiumg@mail.tmmu.com.cn

收稿日期:2005-02-25;修回日期:2005-05-19

检查采用 Siemens 1.5T MRI 成像系统，标准正交头线圈，先进行常规 SE 序列 T_1WI、T_2WI 成像，然后进行无间隔平面回波脉冲序列（echo planar imaging，EPI）的扩散张量成像，TR = 9 000 ms，TE = 106 ms，层厚 3.5 mm，间距 0 mm，采集矩阵为 128 × 128，FOV = 240 × 240 mm，b 值分别为 0、1 000 s/mm^2，扩散敏感梯度方向为 6 个方向，加上零梯度方向的参考基准方向共 7 个方向。全部采集时间约为 13 min。另选取 6 名正常成年男性作为对照。

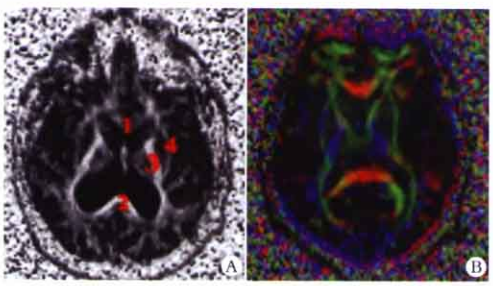
1.2 图像分析

采用 DtiStudio 软件（由 Johns Hopkins 大学 Susumu Mori 和 Hangyi Jiang 博士惠赠）对 DTI 图像进行分析处理，由软件重建出 FA 图、相对各向异性（relative anisotropy，RA）图、表观扩散系数（apparent diffusion coefficients）图以及二维彩色张量图，在病变周边白质选取兴趣区（region of interest，ROI），并在健侧对应区取近似 ROI，测量患、健侧白质的 FA 值、RA 值等参数。并用纤维跟踪软件追踪白质纤维走行，观察白质纤维形态变化以及与颅内病灶之间的关系。

2 结果

2.1 正常 DTI 表现

FA、RA 和 VR 图可提供很好的灰白质对比度，以 FA 图最佳。在正常 DTI 的 FA 图上，正常白质表现为高信号，可辨认出脑白质内主要纤维束的走行，如胼胝体、内囊、外囊、锥体束等（图 1A）。测量了部分正常脑组织的 FA 值，两侧半卵圆中心 FA 值为 0.58 ± 0.05，胼胝体压部为 0.62 ± 0.02，胼胝体膝部为 0.56 ± 0.04，两侧内囊后肢为 0.52 ± 0.03，两侧内囊前肢为 0.48 ± 0.02，两侧内囊膝部为 0.42 ± 0.02，两侧外囊为 0.34 ± 0.03。二维伪彩色张量图在显示白质形态的同时可以通过红、蓝、绿色提供白质纤维走行方向的信息，在横断位伪彩色 FA 图像可清楚地显示胼胝体、内囊及外囊等白质纤维（图 1B），红色表示左右走行的纤维，蓝色表示前后走行，绿色表示上下走行。利用纤维跟踪软件追踪白质纤维走行，并与人脑三维立体图像融合，可以清楚显示双侧锥体束的立体形态（图 2），以及锥体束、下纵束和扣带等白质纤维的空间关系（图 3）。



A：FA map　1：genu of corpus callosum；2：splenium of corpus callosum；3：posterior limb of internal capsule；4：external capsule
B：DTI-based color map

图 1　扩散张量成像 FA 图

Fig 1　Map of diffusion tensor imaging

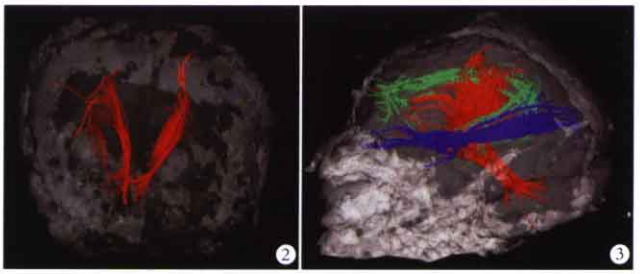


图 2　显示锥体束（红色）立体形态

Fig 2　View of the pyramidal tract (red) superimposed on the 3D brain

图 3　显示锥体束（红色）、下纵束（蓝色）和扣带（绿色）空间关系

Fig 3　View of the pyramidal tract (red), inferior longitudinal fasciculus (blue) and cingulum (green) in the 3D brain

2.2 异常 DTI 表现

由于肿瘤的占位效应，白质纤维受到推移后仍表现为高信号，病灶位置不同，移位的方向也不同，白质纤维受到破坏后表现为低信号。本组 3 例胶质细胞瘤患者可以观察到内囊、外囊和胼胝体等受压、移位，其中 2 例患者可以观察到肿瘤区附近的白质纤维破坏、消失，外囊明显向内侧移位凹陷并部分消失，内囊后肢也因肿瘤浸润而 FA 值降低，呈低信号（图 4）。测量病灶周围白质 FA 值可见患侧较健侧对应兴趣区明显降低，病例 2 健侧内囊后肢 FA 值为 0.51，患侧仅 0.18。利用纤维跟踪软件追踪白质纤维走行与肿瘤三维图像融合，可以立体观察肿瘤与毗邻白质纤维束的空间关系（图 5）。在 3 例脑梗死患者的 DTI 图像上可观察到内囊、放射冠、锥体束不同程度中断、缺损，其中 1 例患者的冠状位 FA 图像可见左侧锥体束中断（图 6），三维纤维束图像可立体地显示锥体束中断表现。

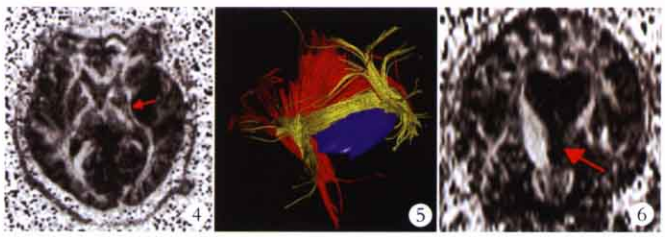


图 4　在 FA 图上显示外囊被肿瘤压迫并向内侧移位（红箭所示）

Fig 4　The external capsule was compressed by the tumor and displaced inside (red arrow)

图 5　肿瘤与毗邻白质纤维束的空间关系，蓝色为肿瘤，红色为锥体束，黄色为外囊

Fig 5　View of the tumor (blue) and the adjacent fibers, the right pyramidal tract (red), the external capsule (yellow)

图 6　冠状位 FA 图像显示左侧锥体束中断（红箭所示）

Fig 6　The left pyramidal tract broke on the coronal FA map (red arrow)

3 讨论

3.1 扩散张量成像的成像原理

水分子的自由运动称为扩散，即布朗运动。扩散是一个真正的三维过程，衡量扩散大小的数值称为扩

散系数 D，其单位为 mm^2/s，即单位时间内分子扩散的面积。D 为一个张量，而不是一个矢量单位，没有方向性，由相互垂直的 3 个特征向量决定了局部的纤维框架，可充分描述各个方向上分子运动和这些方向上的相关性。在均匀介质中，水分子的扩散呈各向同性，即在各方向的扩散强度大小一致。人体组织中的扩散均为各向异性扩散，普通的扩散加权序列无法体现扩散的各向异性，而扩散张量成像序列在至少 6 个方向上施加扩散梯度，并分别进行采集，继而得出多种数据，通过计算可得出多种图像，包括 ADC、FA、RA 图等，从而对扩散的各向异性做出检测[3,4]。通过测量各向异性，可对有序排列的微结构如白质纤维束进行定位，并清楚地显示白质纤维束的形态，直接测量出 FA 值、张量的本征值（eigen value）等。临床常用 FA 值来定量分析各向异性的程度。FA 值的范围为 0～1，0 代表最大各向同性扩散，1 代表假定状况下最大各向异性扩散。在 FA 图中，脑白质各向异性最高，表现为高信号；相反，脑脊液各向异性最低，表现为低信号。在平行于白质纤维束的方向上，水分子扩散受到的阻力比垂直于纤维束的方向上小，扩散距离长，所以在垂直于纤维束的扩散编码梯度方向上比平行于纤维束扩散编码梯度上测得的图像信号高。扩散各向异性的改变与神经细胞轴突直径、神经细胞膜成分及结构、细胞内外水的黏滞度、神经细胞轴突髓鞘化程度与完整性、细胞外间隙的容积等多种因素相关。扩散张量成像可反映白质纤维的解剖和病理过程，这是以前的成像手段所不能达到的，补充了常规 MRI 检查的不足[5]。

3.2　扩散张量成像的临床应用

在神经纤维走行区内（如脑白质、脊髓白质），神经轴突的外面包有髓鞘，在此方向上扩散受限，但在沿轴突的方向却没有髓鞘的阻挡。因此，神经纤维的各向异性扩散更为明显。本研究通过对 6 例正常志愿者脑组织白质纤维束图像的分析发现，DTI 成像可以在活体内清楚地显示白质纤维束的形态、走向，在正常 FA 图中可见脑内白质纤维束呈高信号，两侧形态基本对称，白质纤维束与周围结构的界面清晰。结合二维伪彩色 FA 图像以及三维纤维束追踪图像，可以直观、立体地观察白质纤维束的形态。通过对 6 例常见颅脑疾病患者的 DTI 图像分析，本研究表明 FA 图能提供传统 MRI 所不能提供的解剖细节，能发现传统 MRI 不能发现的白质内纤维束微细结构和各向异性扩散早期的受损。在 3 例脑胶质瘤患者 DTI 的白质纤维束图像上可以清楚显示纤维束的受压推挤、移位、破坏及浸润等异常表现，还可以定量测定纤维束的各向异性扩散程度，这对于神经外科医生全面了解肿瘤信息，指导手术及术后放疗，减少术后致残率、提高患者生存质量非常重要[6-8]。医生可在术前辨认局部白质纤维束的移位方式和程度，极大地有利于手术计划的制订和术中纤维束的保护，这是传统 MRI 无法做到的。在 3 例脑梗死患者 DTI 的白质纤维束图像上可显示内囊、放射冠、锥体束不同程度中断、缺损，三维纤维束图像可立体地显示锥体束中断表现，这有利于神经内科医生了解脑梗死患者的内囊、锥体束中断部位、程度等，可对预后作出判断[4]。

扩散张量成像不但可在脑卒中、脑肿瘤等疾病中得以应用，在多发性硬化、认知障碍等领域也有应用报道[9]。但是，目前扩散张量成像也还有一定局限性：①扩散张量成像的信噪比比较低，EPI 序列对磁化率差异的敏感导致的几何变形和伪影，从而导致各向异性度量易受噪声干扰，同时 FA 图的分辨率也较低。②成像时间过长，本组研究采用 6 个方向扩散权重采集，成像时间已经超过 10 min，若采用更多方向扩散权重采集，患者常不能耐受。③如白质束内纤维密度、髓鞘形成程度、纤维直径、神经胶质细胞包裹密度等也可影响体素的扩散各向异性。尽管如此，扩散张量成像作为一种新的 MRI 成像技术，是目前唯一的活体状态下观察脑白质神经纤维束的方法，在颅脑疾病中的重要临床意义必将越来越受到影像医师以及临床医师的重视。

参考文献：

[1] Basser P J, Pierpaoli C. Microstructural and physiological features of tissues elucidated by quantitative-diffusion-tensor MRI[J]. J Magn Reson B, 1996, 111(3): 209-219.

[2] Shimony J S, McKinstry R C, Akbudak E, *et al*. Quantitative diffusion-tensor anisotropy brain MR imaging: normative human data and anatomic analysis[J]. Radiology, 1999, 212(3): 770-784.

[3] Pierpaoli C, Jezzard P, Basser P J, *et al*. Diffusion tensor MR imaging of the human brain[J]. Radiology, 1996, 201(3): 637-648.

[4] Sorensen A G, Wu O, Copen W A, *et al*. Human acute cerebral ischemia: detection of changes in water diffusion anisotropy by using MR imaging[J]. Radiology, 1999, 212(3): 785-792.

[5] Sotake C H. The role of diffusion tensor imaging in the evaluation of ischemic brain injury - a review[J]. NMR Biomed, 2002, 15(7-8): 561-569.

[6] Wieshmann U C, Symms M R, Parker G J, *et al*. Diffusion tensor imaging demonstrates deviation of fibres in normal appearing white matter adjacent to a brain tumour[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2000, 68(4): 501-503.

[7] Tummala R P, Chu R M, Liu H, *et al*. Application of diffusion tensor imaging to magnetic-resonance-guided brain tumor resection[J]. Pediatr Neurosurg, 2003, 39(1): 39-43.

[8] 吴劲松，周良辅，洪汛宁，等. 磁共振扩散张量成像在涉及锥体束的脑肿瘤神经导航术中的应用[J]. 中华外科杂志，2003，41(9)：662-666.

[9] Le Bihan D, Mangin J F, Poupon C, *et al*. Diffusion tensor imaging: concepts and applications[J]. J Magn Reson Imaging, 2001, 13(4): 534-546.

（编辑　刘洪娥）