

头部扩散张量磁共振成像扫描方案的优选

肖江喜, 郭雪梅, 王霄英, 蒋学祥

(北京大学第一医院医学影像科, 北京 100034)

[摘要] 目的 探索扩散张量磁共振成像应用于临床的合理扫描方案。方法 对 20 名成年健康志愿者行头部扩散张量成像, 比较不同扫描参数(层厚/层间距、b 值及扩散敏感梯度方向数)对图像质量的影响。结果 在三种不同的扫描参数中, 以层厚/层间距对图像信噪比的影响最大, 层厚/层间距越大, 图像信噪比越高。高 b 值扫描虽然 ADC 图灰白质对比明显, 但 FA 图噪声较大。方向数越多, 图像信噪比越高, 但扫描时间相应延长。结论 层厚/层间距 3 mm/1 mm、b 值 = 1000 s/mm²、扩散敏感梯度方向 25 个, 此方案适用于研究脑白质的细微结构, 是应用于临床的合理扫描方案。

[关键词] 扩散张量成像; 磁共振成像; 扫描方案; 脑白质

[中图分类号] R322.81; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2003)11-1433-03

Optimization of the Scanning Protocol for Diffusion Tensor Imaging of Head

XIAO Jiang-xi, GUO Xue-mei, WANG Xiao-ying, et al

(Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China)

[Abstract] **Objective** To search for the reasonable scanning protocol for diffusion tensor imaging in the clinical study of the head. **Methods** Diffusion tensor imaging of the head was performed in 20 healthy adult volunteers. Different parameters including slice thickness, b value and the number of the diffusion sensitive gradient direction were applied and their impact on the quality of the images were compared. **Results** Slice thickness had the greatest impact on the signal noise ratio of the images. Scans with higher b value revealed better contrast between gray matter and white matter in ADC map, but noise in FA map became greater. The more the number of the direction was, the greater the SNR was, but the longer the scanning time was. **Conclusion** Scanning with thickness of 3mm, b value 1000 s/mm² and 25 directions is the reasonable protocol in the clinical study of white matter.

[Key words] Diffusion tensor imaging; Magnetic resonance imaging; Scan protocol; White matter

扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)是在扩散加权成像的基础上发展起来的磁共振新技术, 着重于研究活体内水分子的扩散特性, 还可通过计算机软件后处理, 进行纤维束成像(tractography), 此技术已逐渐应用于临床。本研究旨在探索 DTI 扫描在中枢神经系统检查的最佳方案。

1 材料与方法

1.1 研究对象 随机抽取 24 名成年健康志愿者, 年龄 20~31 岁, 平均 25.3 岁, 男 16 名, 女 8 名, 均无神经系统阳性症状及体征, 常规磁共振检查未见异常。将研究对象随机分为三组, 每组 8 人。

1.2 扫描方法 应用 GE Signa 1.5 T twinspeed 磁共振仪, 鸟笼式头部正交线圈。除常规 MR 序列外, 24 名成人行头部轴位扩散张量成像。扫描参数: TR/TE 8000 ms /70.9 ms, 矩阵 128×128, NEX=2, 频率编码方向 R/L, FOV 24 cm。上述参数在全部受试者均固定不变。DTI 扫描的可变参数包括: 层厚/层间距(mm)、扩散编码强度(b 值)(s/mm²)及扩散

敏感梯度方向数。层厚/层间距分别选取 6 mm/1 mm、3 mm/1 mm、2 mm/0; b 值分别选取 500、1000、2000 s/mm²; 扩散敏感梯度方向数分别选取 6 个、13 个、25 个。三组研究对象应用不同的扫描参数: 第一组(层厚层间距组): b 值(1000 s/mm²)及方向数(13 个)固定, 改变层厚/层间距; 第二组(b 值组): 层厚层间距(6 mm/1 mm)及方向数(13 个)固定, 改变 b 值; 第三组(方向数组): b 值(1000 s/mm²)及层厚层间距(6 mm/1 mm)固定, 改变方向数。扫描时间只与方向数有关, 6 个方向耗时 1 分 52 秒, 13 个方向 3 分 44 秒, 25 个方向 6 分 56 秒。

1.3 影像分析 入选研究对象的常规 MRI 表现均由 2 名放射科专家评定为正常。扫描后经 Sun, ADW 4.0 工作站后处理, 生成彩色扩散张量图、FA(fractional anisotropy, 部分各向异性)图及 ADC(apparent diffusion coefficient, 表观扩散系数)图。FA 图及 ADC 图的伪彩颜色均表示每个体素的参数测量值, 由大到小分别显示为红色、黄色、绿色、蓝色、黑色。彩色扩散张量将 FA 值小于阈值(0.3)的体素显示为黑色, 将 FA 值大于等于阈值的体素赋予代表方向性的颜色, 平面内左右走行的(X轴)显示为红色, 上下走行的(Y轴)显示为绿

图 1 不同层厚/层间距对彩色扩散张量图质量的影响 b 值均为 1000 s/mm², 方向数均为 13 个, 层厚/层间距分别为 6 mm/1 mm、3 mm/1 mm、2 mm/0 **图 2** 不同 b 值对 FA 图图像质量的影响 层厚/层间距均为 6 mm/1 mm, 方向数均为 13 个, b 值分别为 500 s/mm²、1000 s/mm²、2000 s/mm² **图 3** 不同 b 值对 ADC 图的影响: 层厚/层间距均为 6 mm/1 mm, 方向数均为 13 个, b 值分别为 500 s/mm²、1000 s/mm²、2000 s/mm² **图 4** 不同方向数对图像质量的影响 层厚/层间距均为 6 mm/1 mm, b 值均为 1000 s/mm², 方向数分别为 6 个、13 个、25 个

色,垂直于平面走行的(Z轴)显示为蓝色。由于彩色扩散张量图及 FA 图具有明显的灰白质对比,主要采用这两种彩图,目测评价图像质量(共 144 套),分为一、二、三 3 个等级:一级背景噪声少、皮层无信号且纤维束边缘显示清晰者,二级背景噪声较多、皮层有淡蓝色点状信号且纤维束边缘较清者,三级背景噪声大、皮层有杂乱粗点状信号且纤维束边缘显示不清者。另外比较不同扫描参数得出的 FA 值及 ADC 值测量结果(基底节层面,比较内囊后肢、尾状核及背侧丘脑的测量值)。

2 结果

2.1 层厚/层间距组 此组参数对图像信噪比的影响最大(表 1)。层厚越厚,层间距越大,生成彩图的信噪比越高。其中 FA 图质量受参数影响大于彩色扩散张量图。以层厚 2 mm、无间距扫描时图像信噪比很差,三级图像达 12 套;而厚层扫

描(层厚/层距 6 mm/1 mm)所得图像信噪比明显提高,FA 图灰白质对比好(图 1)。同一受试者不同层厚扫描,相应部位的 FA 值或 ADC 值无明显差异。

2.2 b 值组 此组参数对图像信噪比的影响最小(表 1)。b 值=500 s/mm² 的图像比 b 值=2000 s/mm² 的图像信噪比高,以 FA 图表现较为明显(图 2),b 值=2000 s/mm² 时,FA 图皮层灰质内可见点状杂乱噪声。同时,b 值越高,一次采集允许扫描的层数越少。同一受试者不同 b 值扫描,高 b 值扫描测得的相应部位 FA 值及 ADC 值均轻度偏高;b 值=500 s/mm² 及 b 值=1000 s/mm² 时,肉眼观察成人及儿童的 ADC 图几乎无灰白质对比,而 b 值=2000 s/mm² 时可见较明显的灰白质对比,灰质 ADC 值明显高于白质(图 3)。

2.3 扩散敏感梯度方向组 方向数越多,生成彩图的信噪比越高,6 个方向和 13 个方向的彩图信噪比可见明显差异,而

25 个方向的信噪比较 13 个方向的稍有改进(图 4)。方向数越多,扫描时间越长:6 个方向耗时 1 分 52 秒,13 个方向耗时 3 分 44 秒,25 个方向耗时 6 分 56 秒。同一受试者不同方向数扫描,相应部位的 FA 值或 ADC 值无明显差异。

表 1 图像质量分级评价结果

图像质量	层厚及层间距			b 值组			扩散敏感梯度方向组		
	6/1	3/1	2/0	500	1000	2000	6	13	25
一级	12	7	0	13	12	9	8	12	14
二级	4	6	4	3	4	7	7	4	2
三级	0	3	12	0	0	0	1	0	0
合计		48			48			48	

3 讨论

3.1 扩散张量成像的参数对图像及测量值的影响

3.1.1 层厚及层间距 与常规磁共振成像类似,扫描层厚越厚、层间距越大,图像信噪比越高,层厚越薄,信噪比越差。但层厚过厚,个体素的体积增大,得出的测量值受部分容积效应的影响较大,将影响测量值的准确性。由于层厚及层间距的限制,本研究所能显示的最细纤维为中脑内走行的动眼神经纤维,但测值困难。故选择此参数时,应权衡图像信噪比和部分容积效应的影响。我们认为层厚及层间距 6 mm/1 mm 或 3 mm/1 mm 较为合适,与文献报道结果相似^[1-3]。

3.1.2 b 值 DTI 的重要参数,表示应用的梯度磁场的时间、幅度、形状,可人为设定。b 值越高,信号衰减越大,信噪比越差,得到的信息越少^[4];但 b 值过低,图像对比度降低。故临床应用于脑组织的 DTI 成像多用较低的 b 值(1000 s/mm²左右)。低 b 值(0~1000 s/mm²)主要观察活体组织内的快速扩散运动,信号衰减公式为 $\frac{S(b)}{S(0)} = \exp(-\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 b_{ij} D_{ij})$,

其中 S(b)和 S(0)分别为所选 b 值和 b=0(无扩散敏感梯度)时的信号强度。高 b 值(>1500 s/mm²)可观察到较慢速的扩散运动^[4],准确公式应为: $\frac{S(b)}{S(0)} = f_{\text{slow}} \exp(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 b_{ij} D_{ij}^{\text{slow}})$

+ $f_{\text{fast}} \exp(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 b_{ij} D_{ij}^{\text{fast}})$,其中 f_{slow} 和 f_{fast} 分别代表慢速扩散和快速扩散所占的容积分数。在脑组织中,快速扩散运动的组织容积约占 60%余,慢速扩散组织容积约占 30%余。由于脑白质较灰质含有更多的慢速扩散成分,增加 b 值可使灰质 ADC 值升高,ADC 图对比增加。本文认为 b 值=1000 s/mm² 较为适合临床应用,原因如下:①多数中枢神经系统 DTI 研究应用 b 值=1000 s/mm²^[4,5],图像信噪比及对比度均较好;②关于脑组织高 b 值 DTI 的研究较少,造成高 b 值扫描 ADC 图特殊表现的具体机制尚未完全清楚,扫描结果

的解释有一定困难(可能与脑组织髓磷脂的含量有关);③高 b 值对成像系统的性能要求较高,需要较高的磁场切换梯度(至少高于 20 mT/m),不易普及。

3.1.3 方向数 本研究所用 MR 仪的扩散敏感梯度场方向数选择范围为 6~55 个,可人为设定。6 个方向和 13 个方向的彩图信噪比可见明显差异,而 25 个方向的信噪比 13 个方向的稍有改进,并不明显。同时,方向数越多,扫描时间越长。另外,方向数越多,生成的原始图像越多,图像数=层数×(方向数+1)(如用 13 个方向扫描 18 层,所得图像数为 252 张),将占用较多的计算机内存。故方向数的选择应结合上述因素综合考虑。

3.2 DTI 扫描方案的优选 结合上述的参数选择原则,可总结出两套较为适宜的 DTI 扫描方案。第一方案:层厚/层间距 3 mm/1 mm、b 值=1000 s/mm²、扩散敏感梯度方向 25 个,此方案生成的彩图信噪比较高,适用于研究脑白质的细微结构,一般成人均可耐受;第二方案:层厚/层间距 6 mm/1 mm、b 值=1000 s/mm²、扩散敏感梯度方向 13 个,此方案扫描时间较短,扫描覆盖范围较大,适用于儿童和不能配合的患者的全脑扫描。

本文从应用的角度出发,总结出了扩散张量成像的较为合适的扫描方案,为扩散张量成像在临床的广泛应用打下了较为坚实的基础。

[参考文献]

- [1] Neil JJ, Shiran SI, McKinsty RC, et al. Normal brain in human newborns: Apparent diffusion coefficient and diffusion anisotropy measured by using diffusion tensor MR imaging[J]. Radiology, 1998, 209(1): 57-66.
- [2] Huppi PS, Maier SE, Peled S, et al. Microstructural development of human newborn cerebral white matter assessed in vivo by diffusion tensor magnetic resonance imaging[J]. Pediatr Res, 1998, 44(4): 584-590.
- [3] Mukherjee P, Miller JH, Shimony JS, et al. Normal brain maturation during childhood: Developmental trends characterized with diffusion-tensor MR imaging[J]. Radiology, 2001, 221(2): 349-358.
- [4] Clark CA, Hedehus M, Moseley ME. In vivo mapping of the fast and slow diffusion tensors in human brain[J]. Magn Reson Med, 2002, 47(4): 623-628.
- [5] Yoshiura T, Wu O, Zaheer A, et al. Highly diffusion-sensitized MRI of brain: Dissociation of gray and white matter[J]. Magn Reson Med, 2001, 45(5): 734-740.