

不同扩散敏感系数颈髓白质纤维束磁共振扩散张量成像研究

管红梅¹, 王德杭², 田俊³

(¹南京医科大学附属南京儿童医院放射科, 江苏 南京 210018; ²南京医科大学第一附属医院影像科, 江苏 南京 210029; ³南京医科大学第二附属医院影像科, 江苏 南京 210011)

[摘要] 目的:探讨不同扩散敏感系数颈髓白质纤维束磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)的应用价值和各向异性程度。方法:选择健康志愿者 28 例,分为 2 组,使用单次激发自旋回波平面回波(SE-EPI)序列颈髓扩散张量成像检查,扩散敏感系数(b 值)分别为 400 s/mm²和 700 s/mm²,测量颈髓各节段各向异性分数(fractional anisotropy, FA)值。采用 SPSS11.5 软件对获取的 FA 值进行统计学分析。结果:采用 b = 400 s/mm²时,颈髓矢状位成像测量的平均 FA 值为 0.659 0 ± 0.072 7,横轴位成像测量的平均 FA 值为 0.771 1 ± 0.058 4;采用 b = 700 s/mm²时,颈髓矢状位成像测量的平均 FA 值为 0.658 3 ± 0.073 7,横轴位成像测量的平均 FA 值为 0.778 2 ± 0.065 1。不同 b 值组间差异无统计学意义(P > 0.05)。同组横轴位颈髓平均 FA 值大于矢状位颈髓 FA 值,差异有统计学意义(P < 0.05)。结论:b 值 = 400 s/mm²颈髓 DTI 图像和 FA 图优于 b 值 = 700 s/mm²。FA 值可定量分析颈髓各节段白质纤维的各向异性程度。白质纤维束成像三维显示颈髓白质纤维束的分布及走向。

[关键词] 脊髓; 磁共振成像; 扩散张量成像; 白质纤维束

[中图分类号] R445.2

[文献标识码] B

[文章编号] 1007-4368(2012)02-255-04

磁共振扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)作为一种新的功能成像技术已成功用于大脑白质纤维束的成像^[1-2]。但关于脊髓白质纤维束成像的研究不多^[3-7]。本研究将 DTI 技术用于健康成人的颈髓检查,在不同扩散敏感系数下对图像质量做出评定,对各组各向异性分数(fractional anisotropy, FA)进行定量测量分析及白质纤维束示踪,以确定最优化的颈髓 DTI 扫描参数。

1 对象与方法

1.1 对象

选择健康志愿者共 28 例,年龄 20~55 岁,分 2 组。第 1 组,扩散敏感系数(b) = 400 s/mm²,男 8 例,女 6 例,平均(31.00 ± 14.10)岁;第 2 组,b = 700 s/mm²,男 7 例,女 7 例,平均(36.78 ± 12.11)岁;第 2 组中 4 例志愿者同时进行 b = 400 s/mm²的 DTI 检查,b = 400 s/mm²时所有数据归入第 1 组。

1.2 方法

采用美国 GE 公司 INFINITY1.5T 超导型磁共振扫描仪,8NV 头颈联合相控阵线圈。常规扫描:颈髓矢状位 T1WI;TR = 400 ms,TE = 9.2 ms;T₂WI;TR = 3 200 ms,TE = 110.7 ms;横轴位 T₂WI;TR = 3 200 ms,TE = 94.4 ms,采集矩阵 256 × 192。DTI 采用单次激发 SE-EPI 序列,矢状位 TR = 2 000 ms,

TE = 81.6 ms,矩阵 96 × 96;横轴位扫描,TR = 6 300 ms,TE = 82.0 ms,矩阵 96 × 96。b 值两组分别为 400 s/mm²和 700 s/mm²,扩散敏感梯度取 15 个不同方向。

将所有 DTI 数据传递到 GE 公司提供的 SUN 图形工作站,并应用 FuncTool 的 Diffusion Tensor 软件进行后处理。矢状位 FA 图像采用正中矢状面作为分析层面。分别于 C₁~C₇ 的 7 个椎体水平脊髓组织放置感兴趣区(region of interest, ROI),ROI 约 5 mm²,测量矢状位和横轴位的各椎体水平脊髓组织的正常 FA 值。感兴趣区放置应尽量避免中央管,以减少脑脊液的部分容积效应^[3]。将获得的横轴位 DICOM 图像经日本东京大学 Masutani 开发的 DTV II 和 Volume One 软件行纤维束示踪,示踪条件为:FA < 0.3,step = 160,横轴位设定种子(seed),种子范围为横轴位整个脊髓断面。由 2 位经验丰富的影像学医师对 b = 400 s/mm²和 b = 700 s/mm²的 DTI 和 FA 图像进行评价,根据 DTI 信号强度、对比度明暗度和 FA 图的均匀度、边缘情况等评价。

1.3 统计学方法

应用 SPSS11.5 统计软件对 FA 值进行统计学处理,不同参数以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间差异用单因素方差分析,各个椎体测量结果均经配

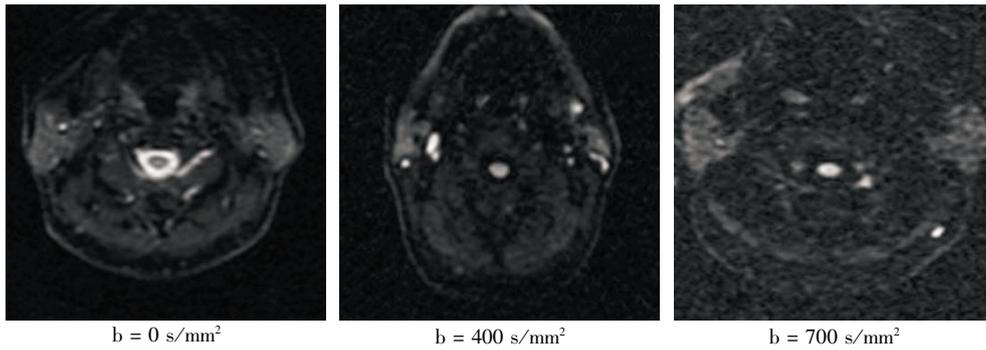
对 *t* 检验进行统计学分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同扩散敏感系数颈髓 DTI 及 FA 图

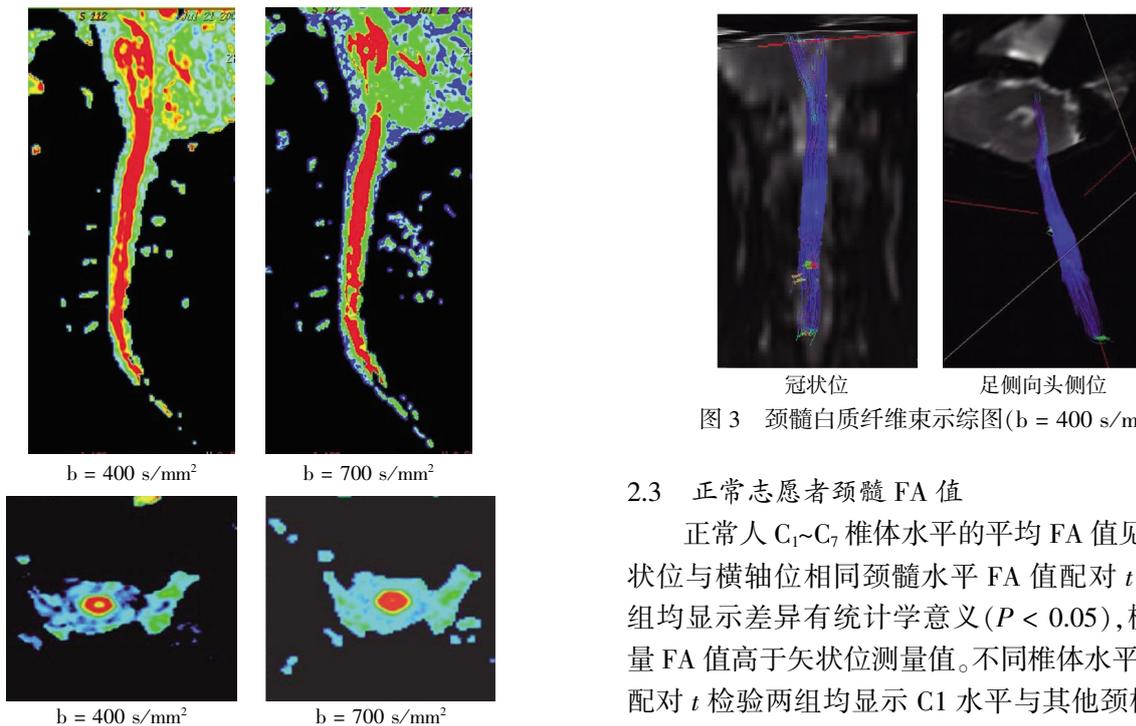
28 例正常志愿者颈髓 DTI 矢状位及横轴位均可清晰显示颈髓影像, 未见明显的变形。重建 FA 图显示颈髓为红色高信号, 脑干部位显示不均匀绿色

低信号; 脑脊液呈均匀蓝绿色低信号。不同 *b* 值同一志愿者成像效果的比较: 第 2 组中 4 例行两种 *b* 值检测的志愿者均以 $b = 400 \text{ s/mm}^2$ 时成像效果较好, 对比度和明暗度适中。 $b = 700 \text{ s/mm}^2$ 时, DTI 图像信号衰减明显且对比度差 (图 1), FA 图层次感较差, 图像粗糙, 边缘较模糊, 矢状位 FA 图尤其明显; $b = 400 \text{ s/mm}^2$ 时, FA 图层次感及边缘效果有改善, 脊髓中央管显示亦较清晰 (图 2)。



随着 *b* 值由 400 s/mm^2 升为 700 s/mm^2 , 图像信号强度、对比度、明暗度降低, 图像颗粒变粗, 边缘模糊。

图 1 横轴位 DTI 图



脊髓呈红色, 脑脊液呈蓝绿色。 *b* 值为 400 s/mm^2 较 *b* 值为 700 s/mm^2 图像清晰度和信号均匀度明显提高, 中央管显示更清晰。

图 2 矢状位和横轴位 FA 图

2.2 白质纤维束示踪图

28 例均能追踪出横轴面扫描范围内的白质纤维束, 显示其空间分布及走向的高度一致性, 平行于脊髓长轴方向, 具有圆柱状的特点 (图 3)。两组白质纤维束示踪图无明显差异。

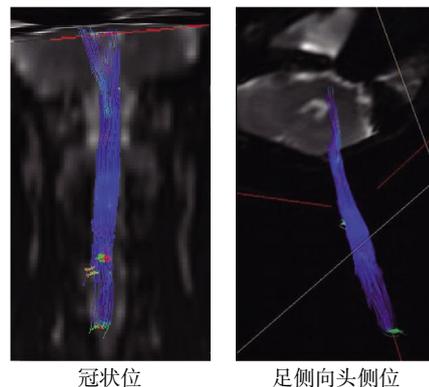


图 3 颈髓白质纤维束示踪图 ($b = 400 \text{ s/mm}^2$)

2.3 正常志愿者颈髓 FA 值

正常人 $C_1 \sim C_7$ 椎体水平的平均 FA 值见表 1。矢状位与横轴位相同颈髓水平 FA 值配对 *t* 检验, 两组均显示差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 横轴位测量 FA 值高于矢状位测量值。不同椎体水平 FA 值间配对 *t* 检验两组均显示 C_1 水平与其他颈椎水平间 FA 值比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 颈髓 C_1 水平 FA 值低于颈髓 $C_2 \sim C_7$ 水平; $C_2 \sim C_7$ 水平 FA 值间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。不同 *b* 值相同部位间单因素方差分析显示相同部位颈髓水平 FA 值差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 正常颈髓的 DTI 研究

表 1 28 例志愿者 C₁~C₇ 椎体水平的平均 FA 值

($\bar{x} \pm s$)

椎体	b = 400 s/mm ² (n = 18*)		b = 700 s/mm ² (n = 14)	
	矢状位	横轴位	矢状位	横轴位
C ₁	0.515 4 ± 0.037 5	0.658 1 ± 0.048 2	0.507 1 ± 0.040 3	0.637 2 ± 0.048 8
C ₂	0.698 6 ± 0.037 5	0.785 0 ± 0.042 4	0.698 1 ± 0.036 2	0.795 7 ± 0.035 8
C ₃	0.687 4 ± 0.034 3	0.787 3 ± 0.035 2	0.677 6 ± 0.050 0	0.792 5 ± 0.033 4
C ₄	0.689 0 ± 0.047 4	0.777 2 ± 0.039 9	0.675 3 ± 0.044 9	0.801 9 ± 0.023 5
C ₅	0.675 4 ± 0.054 0	0.793 7 ± 0.028 8	0.683 4 ± 0.038 0	0.809 2 ± 0.019 5
C ₆	0.674 5 ± 0.037 1	0.793 5 ± 0.025 0	0.691 3 ± 0.039 1	0.807 8 ± 0.019 8
C ₇	0.672 0 ± 0.048 7	0.792 8 ± 0.024 6	0.675 3 ± 0.030 1	0.802 8 ± 0.018 7
均值	0.659 0 ± 0.072 7	0.771 1 ± 0.058 4	0.658 3 ± 0.073 7	0.778 2 ± 0.065 1

* :有 4 例志愿者进行了两种 b 值的测量。

由于颈髓本身及周围特殊的解剖结构易造成部分容积效应、磁场不均以及脑脊液搏动、呼吸及心跳造成的运动伪影。参考以往脊髓 DTI 研究^[3-6], 1.5T 磁共振本文选择单次激发 SE-EPI 序列, 它的优点是单次激发可获得所有 K-空间的原始数据, 扫描时间极短, 减少了运动性伪影, 其缺点是相对空间分辨率较低。

DTI 主要受扩散敏感场强、数量和方向的影响。b 值为扩散敏感系数, 增加梯度脉冲的幅度或延长 2 个梯度脉冲之间的时间可获得高的 b 值。b 值越大对水分子扩散运动越敏感, 使病变与正常组织间对比度增高, 但可引起较大的信号衰减, 图像信噪比降低; b 值小, 可以提高信噪比, 但对水分子扩散运动不敏感, 易受 T₂ 加权的影响, 不能充分显示组织的各向异性。通常应用的 b 值在 0~1 000 s/mm² 之间, 在大脑的 DTI 成像中通常选择 b 值为 1 000 s/mm²。由于脊髓白质的有序排列, 扩散过程要快于大脑, 选择低 b 值, 可以提高信噪比, 一般选择 500 s/mm²。DTI 成像是至少在 6 个不同非共线方向上的扩散加权成像, 理论上方向越多, 三维空间分布越均匀, 数据越准确。但方向增多, 必然增加了整个扫描时间。

用来定量分析白质纤维各向异性程度的常用参数是 FA。FA 值与白质纤维束的排列有关。FA 值的范围是 0~1, 0 代表最大各向同性扩散, 1 代表最大各向异性扩散。理论上越高度一致排列的白质纤维束, FA 值越高。本组研究显示, 在预实验中发现 b 值过低(如 b = 200 s/mm²)扩散敏感性低, 影响各向异性参数测量; b 值过高(如 b = 1 000 s/mm²), 信噪比降低, 图像质量差, 影响图像观察。根据预实验结果, 本文分别取 b 值 400 s/mm²、700 s/mm², 矢状位颈髓平均 FA 测量值分别为 0.659 0 ± 0.072 7、0.658 3 ± 0.073 7, 横轴位颈髓平均 FA 测量值分别

为 0.771 1 ± 0.058 4、0.778 2 ± 0.065 1, 与文献报道一致^[7], 充分显示颈髓白质纤维束排列高度一致。不同 b 值, 相同部位 FA 差异无统计学意义。矢状位和横轴位测量值比较差异有统计学意义, 横轴位测量值略高, 最主要因素是横轴位减少了部分容积效应的影响, 选择 ROI 时, 更易避开中央管; 而矢状位摆位稍有不正, 体积小的颈髓不易位于正中矢状位, 测量时受周围脑脊液及中央管的部分容积效应的影响, 使 FA 值降低。

不同的 b 值影响重建 FA 图图像质量, 影响参数的测量。例如 b 值越大, 对水分子的扩散运动越敏感, 可引起较大的信号衰减, 图像信噪比下降。本组研究中, 第 1 组(b = 400 s/mm²)的 DTI 成像效果及重建 FA 图明显优于第 2 组(b = 700 s/mm²)。基于张量域算法的 DTV II 和 Volume One 纤维束示踪成像软件, 本组将终止跟踪的阈值设为 0.3, 明显低于颈髓白质纤维束的 FA 值, 故两组均能较好显示颈髓的白质纤维束空间分布及走向。

3.2 颈髓 DTI 的临床应用前景及局限性

颈髓 DTI 研究显示 DTI 是唯一无创可活体显示颈髓微结构的方法, 在神经解剖学、白质纤维联系及对许多颈髓疾病诊断具有潜在价值。例如脊髓缺血、多发性硬化、脊髓损伤、脊髓肿瘤等累及白质纤维束的早期, 可以通过测量分析 FA 值来观察白质纤维束的各向异性变化, 从分子水平上做出早期诊断。白质纤维束示踪, 可显示白质纤维束的受压变形、中断等形态改变, 手术患者在术前明确病变与主要白质纤维束的关系, 有助于确定合理手术入路和选择恰当的手术范围。但颈髓的 DTI 并没有常规运用于临床, 主要是 DTI 技术在颈髓的应用中尚存在不足, 成像时间长和影像失真有待改进。

总之, 利用最优化的颈髓 DTI 参数扫描, 使颈

髓的 DTI 成像成为可能, 同时 FA 值可定量分析颈髓各节段白质纤维的各向异性程度。白质纤维束成像三维显示颈髓白质纤维束的分布及走向。

[参考文献]

[1] Wakana S, Jiang H, Nagae-Poetscher LM, et al. Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy[J]. Radiology, 2004, 230(1): 77-87

[2] Yun CS, Li KC, Li YZ, et al. Diffusion tractography of the commissural fibers in human [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2004, 20(3): 378-380

[3] Facon D, Ozanne A, Fillard P, et al. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in spinal compression[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2005, 26(6): 1587-1594

[4] Ducreuxa D, Lepeintreb JF, Fillardc 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

[5] Zheng KH, Ma L, Guo XG, et al. Preliminary study of the cervical spinal cord DTI of normal people [J]. Chin J Radiol, 2006, 40(5): 490-493

[6] Cercignani M, Horsfield MA, Agosta F, et al. Sensitivity-encoded diffusion tensor MR imaging of the cervical cord [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2003, 24(6): 1254-1256

[7] Voss HU, Watts R, Uluğ AM, et al. Fiber tracking in the cervical spine and inferior brain regions with reversed gradient diffusion tensor imaging[J]. Magn Reson Imaging, 2006, 24(3): 231-239

[收稿日期] 2011-05-05

科技出版物中数字的用法

1. 凡是可以用阿拉伯数字且很得体的地方, 均应使用阿拉伯数字。
2. 日期和时刻的表示。需注意年份不能简写, 如 1997 年不能写成 97 年。
3. 计量或计数单位前的数字应采用阿拉伯数字; 多位阿拉伯数字不能拆开转行; 小数点前或后超过 4 位数(含 4 位)的应从小数点起向左或向右每 3 位空出适当间隙, 不用千分撇“,”; 数值的有效数字应全部写出, 如“1.50、1.75、2.00”, 不能写成“1.5、1.75、2”。
4. 参数与偏差范围的表示:
 - (1) 数值范围: 5~10; 注意 $3 \times 10^3 \sim 8 \times 10^3$, 不能写成 $3 \sim 8 \times 10^3$;
 - (2) 百分数范围: 20%~30%, 不能写成 20~30%;
 - (3) 具有相同单位的量值范围: 1.5~3.6 mA 不必写成 1.5 mA~3.6 mA;
 - (4) 偏差范围: $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 不写成 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, $(85 \pm 2)\%$ 不能写成 $85 \pm 2\%$;
5. 附带尺寸单位的量值相乘写为: 50 cm × 80 cm × 100 cm, 不能写成 50 × 80 × 100 cm, 或 $50 \times 80 \times 100 \text{ cm}^3$ 。

(本刊编辑: 接雅俐)