

3.0T MR 扩散张量成像在脑梗死诊断中的应用

于向荣, 李敏, 贾中正, 顾红梅, 陆蓉, 汤乐民

【摘要】 目的:探讨 3.0T 磁共振扩散张量成像(DTI)对脑梗死的诊断价值。**方法:**对 75 例不同时期脑梗死患者进行 MRI 常规检查、扩散加权成像(DWI)及 DTI 检查,重建平均扩散系数(DCavg)图及部分各向异性(FA)图。以 T₂WI 与 DWI 图像为参照,测定各期脑梗死灶及对侧正常脑组织的平均 DCavg 值、平均 FA 值,并进行统计学处理。**结果:**与对侧正常脑组织相比,脑梗死平均 DCavg 值在超急性期及急性期显著减低($P<0.01$),随着时间延长呈逐渐恢复升高的变化趋势;脑梗死平均 FA 值在超急性期无一致性变化,与对侧正常脑组织相比差异无统计学意义($P>0.05$),可轻度升高或轻度降低,随着病程进展呈不可恢复持续减低规律。**结论:**联合 DCavg 值与 FA 值可对脑梗死进行更精确的临床分期,有助于及时准确了解脑梗死的病理生理改变,为临床治疗及预后判断提供依据。

【关键词】 脑梗死; 扩散张量成像; 磁共振成像

【中图分类号】 R743.33; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2010)05-0481-04

Application of diffusion tensor imaging in cerebral infarction with 3.0T MR scanner YU Xiang-rong, LI Min, JIA Zhong-zheng, et al. Department of Imaging, Wuxi Second People's Hospital, Jiangsu 214002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the value of diffusion tensor imaging (DTI) in the diagnosis of cerebral infarction with 3.0T MR scanner. **Methods:** Seventy-five patients with different stages of cerebral infarction underwent conventional MRI, diffusion weighted imaging (DWI), and DTI. The average diffusion coefficient (DCavg) images and part of the fractional anisotropy (FA) images were reconstructed. Using T₂WI and DWI maps as references, the values of DCavg and mean FA in the infarct regions of various stages and contralateral normal brain regions were measured. Statistical analysis was performed. **Results:** Compared with the contralateral normal brain tissues, the values of DCavg decrease significantly in superacute and acute stages of cerebral infarction ($P<0.01$). With the time of cerebral infarction prolonged, the DCavg values showed the tendency of gradual increasing. No consistent change was showed in the mean FA values of superacute stage as compared with the contralateral brain tissue ($P>0.05$), they could be slightly increased or decreased, then showed a tendency of irreversible decreasing as the course of disease progressed. **Conclusion:** Values of DCavg in combination with FA could be helpful in assessing the stage of cerebral infarction more precisely as well as understanding the patho-physiological changes, and to provide the evidence of treatment guidance and prognosis judging.

【Key words】 Cerebral infarction; Diffusion tensor imaging; Magnetic resonance imaging

脑梗死占全部脑血管病的 75%~80%, 日益成为严重的公共卫生问题^[1]。常规 CT 和 MRI 检查对急性脑梗死,尤其是超急性脑梗死的诊断缺乏敏感性和特异性^[2]。MR 扩散成像技术是目前唯一能在活体上进行水分子成像的方法,近年来已应用于神经系统的研究,但对脑梗死的扩散特征及分期尚未形成共识。本文搜集 75 例不同时期脑梗死患者的 MRI 常规检查, DWI 及 DTI 资料并进行对比分析,旨在探讨 3.0T MR 扩散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)对脑梗死的应用价值,以期提高对脑梗死的早期诊断符合率及分期准确性,并为临床提供精确、直观的影像学信息。

材料与方法

1. 研究对象

选择临床和/或 CT 疑有脑梗死的患者 75 例进行 MRI 检查。其中男 41 例,女 34 例;年龄 42~87 岁,平均 65 岁。参照脑梗死分期标准^[3],按照不同的发病时间分成 4 组:超急性期(<6 h)15 例;急性期(6~24 h)22 例;亚急性早期(2~7 d)21 例;亚急性晚期(8~14 d)17 例。

2. MRI 检查方法

采用 GE 3.0T Signa Excite TMHD 超导型 MR 扫描仪,患者正中仰卧位于专用头颅 8 通道相控阵线圈内。行轴面 T₁WI 扫描(FSE TR 480 ms, TE 20 ms), T₂WI 扫描(FSE, TR 4000 ms, TE 90 ms, 回波链长度 18), FLAIR(TI 2100 ms, TR 8600 ms, TE 90 ms), 层厚 5 mm, 间隔 1 mm。DWI 扫描采用单次激发自旋平面回波序列(SE-EPI)轴面扫描, TR

作者单位: 214002 江苏, 无锡市第二人民医院影像科(于向荣); 226001 江苏, 南通大学附属医院影像科(李敏、贾中正、顾红梅、陆蓉); 南通大学医学院(汤乐民)

作者简介: 于向荣(1982-), 男, 江苏盐城人, 硕士, 住院医师, 主要从事 MRI 诊断及研究工作。

通讯作者: 李敏, limin60@163.com

6000 ms, TE 58.6 ms, 层厚 5 mm, 间隔 1 mm, 矩阵 128×128 , 激励次数 2, b 值取 0 和 1000 s/mm^2 。

DTI 扫描采用 SE-EPI 序列, TE 由系统默认最短值, 扫描视野 $24 \text{ cm} \times 24 \text{ cm}$, 矩阵为 128×128 , 1 次采集, b 值 = 1000 s/mm^2 , 扩散敏感梯度方向数 15 个, 层厚 4 mm, 层间距 0 mm。后处理在 SUN Workstation 4.3 工作站上进行, 应用 Functool 2 软件对图像进行矫正、衡量、翻译和修剪, 去除 EPI 扫描序列造成的图像扭曲; 再设定阈值进行降噪处理, 保证梗死灶在显示清晰的前提下最大可能地降低噪声; 由系统自动生成相应的平均扩散系数 (DC_{avg}) 图及 FA 图。

3. 图像分析

以 T_2WI 及 DWI 扫描图为参照, 选择脑梗死中心层面, 感兴趣区 (ROI) 面积依据病灶的大小不同取 $5 \sim 10 \text{ mm}^2$, 同时避免取到脑脊液、血管以及正常脑组织, 然后直接得到 ROI 内的 DC_{avg} 值、FA 值。测量 3 次平均后为该病灶的 DC_{avg} 值、FA 值, 同时所有病灶在对侧镜像取点作为正常脑组织的平均 DC_{avg} 值及 FA 值。

4. 统计学分析

所有测量结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示。各期脑梗死及对侧正常脑组织的平均 DC_{avg} 值、平均 FA 值采用单向方差分析, 并对差异有统计学意义者进一步作多重比较, 方差齐性者用 LSD 法, 方差不齐用 Games-Howell 法。脑梗死 DC_{avg} 值、FA 值与病程间的相关性采用 Pearson 分析。全部数据处理采用 SPSS 16.0 统计软件, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

脑梗死各期与对侧正常脑组织平均 DC_{avg} 值见表 1。单向方差分析 DC_{avg} 值差异有统计学意义 ($F = 65.462, P < 0.01$)。进一步两两比较, 平均 DC_{avg} 值符合方差齐性, 采用 LSD 法多重比较, 结果显示超急性期及急性期平均 DC_{avg} 值明显降低 (图 1、2), 与正常脑组织平均 DC_{avg} 值差异有显著统计学意义 (P 值均 < 0.01), 且超急性期较急性期降低更为明显 ($P = 0.02$)。亚急性早期梗死区 DC_{avg} 值仍较对侧减低, 但明显高于超急性期及急性期 ($P < 0.01$)。亚急性

晚期 DC_{avg} 值继续增高, 其值高于其余各期 (P 值均 < 0.01), 与正常脑组织相比差异无统计学意义 ($P = 0.21 > 0.05$)。脑梗死区平均 DC_{avg} 值与病程分期间 Pearson 分析显示呈明显正相关 ($r = 0.921, P < 0.01$)。

表 1 各期脑梗死及对侧相应正常脑组织平均 DC_{avg} 值和平均 FA 值

脑梗死分期	例数	DC_{avg} 值 ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)	FA 值
超急性期	15	0.461 ± 0.031	0.344 ± 0.025
急性期	22	0.484 ± 0.040	0.282 ± 0.018
亚急性早期	21	0.669 ± 0.041	0.198 ± 0.025
亚急性晚期	17	0.755 ± 0.025	0.183 ± 0.023
正常组织	75	0.763 ± 0.021	0.341 ± 0.020

脑梗死各期与对侧正常脑组织平均 FA 值见表 1。单向方差分析 FA 值差异有统计学意义 ($F = 33.541, P < 0.01$)。进一步两两比较, 平均 FA 值符合方差齐性, 采用 LSD 法多重比较。超急性期脑梗死平均 FA 值变化无一致性, 6 例病灶 FA 值轻度降低, 9 例病灶 FA 值轻度增高, 与正常脑组织相比差异无统

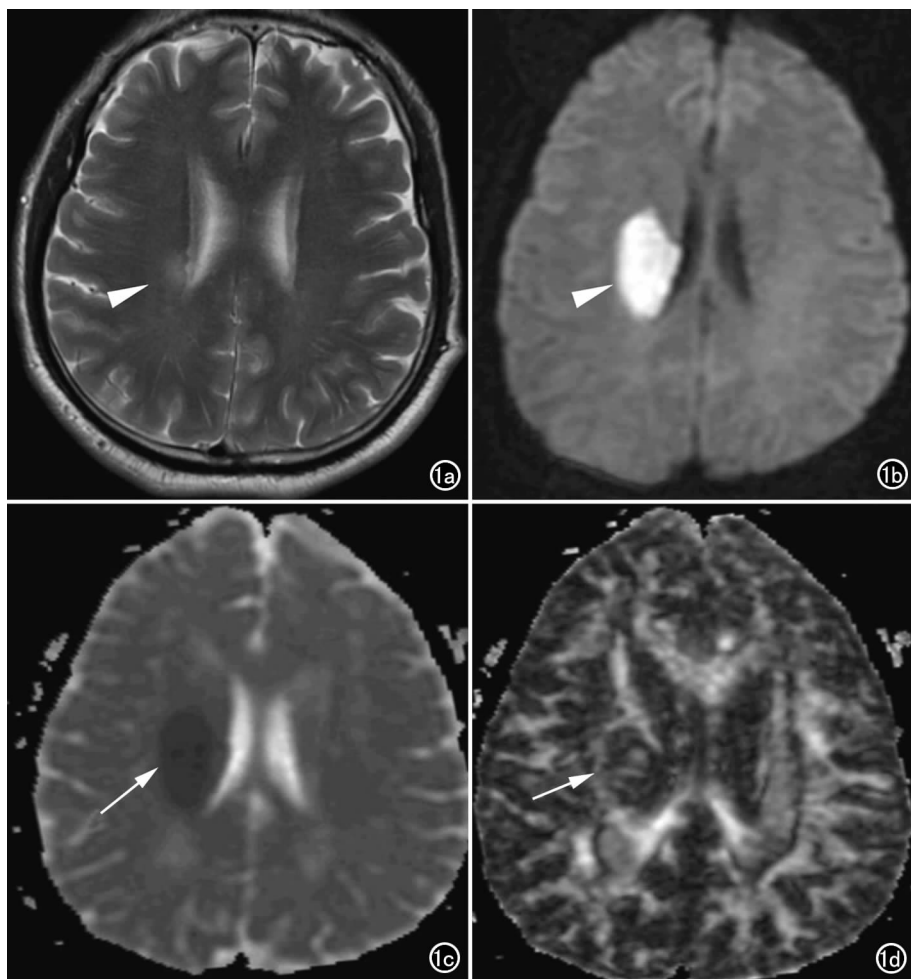


图 1 超急性期脑梗死。a) T_2WI , 示右侧放射冠区可疑稍高信号 (箭头); b) DWI, 示右侧放射冠区明显高信号梗死灶 (箭头), 境界清晰; c) DC_{avg} 图, 示梗死区信号较对侧明显减低 (箭), DC_{avg} 值为 $0.458 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; d) FA 图, 示脑梗死区信号较对侧轻度减低, 边缘区明显 (箭), FA 值为 0.340。

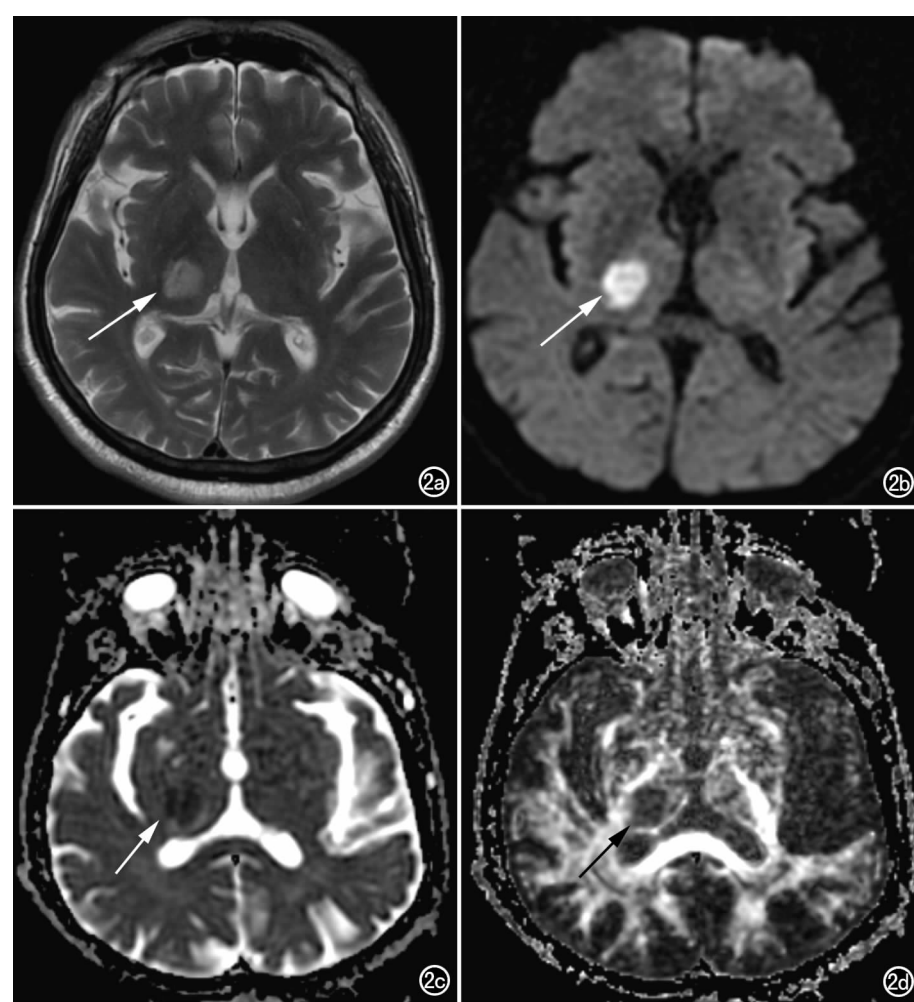


图 2 急性期脑梗死。a) T_2 WI, 示右侧丘脑区稍高信号, 边界模糊(箭); b) DWI, 示右侧丘脑区高信号梗死灶(箭); c) DC_{avg} 图, 示梗死区信号较对侧减低(箭), DC_{avg} 值为 $0.519 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; d) FA 图, 示脑梗死区信号减低, 境界清晰(箭), FA 值为 0.289。

计学意义($P=0.13>0.05$, 图 1)。其余各期脑梗死病灶 FA 值均较正常脑组织降低, 信号下降(P 值均 <0.01)。各期脑梗死两两分析, 结果显示差异均有统计学意义(P 值均 <0.05)。脑梗死区平均 FA 值与病程分期期间 Pearson 分析显示呈明显负相关($r=-0.876$, $P<0.01$)。

讨 论

DTI 是以 DWI 为基础发展起来的磁共振成像新技术, 能更加全面的反映扩散运动的快慢^[4]。DTI 中描述各向异性的指标以部分各向异性(FA)应用最普遍, 其数值在 0~1, FA 值的大小与髓鞘、微管、微丝的完整性, 神经纤维排列的紧密程度及走行方向密切相关^[5]。理论上 DTI 至少需要在 6 个方向施加扩散梯度场, 方向数目的增加提高了图像的信噪比(SNR), 但同时也大大延长了检查时间^[6], 这对于脑梗死等配合欠佳的患者其成功率较低。因此临床应用中 DTI 序列应该采用多少个扩散梯度编码方向一直存在争

议, 比较统一的是取 13 个方向以上, 以 15 个方向更为常见^[7-10], 不仅图像有较好的信噪比, 能够满足临床和科研需要; 而且成像时间也相应缩短, 运动伪影也相应较少, 对于不配合的脑梗死患者, 其成功率明显提高。同时本研究所采用的 MR 扫描仪是 3.0T。根据 Zeeman 效应, 有效磁化矢量随场强而增加的幅度远高于噪声的增幅, 主磁场强度的增加使 SNR 也正比增加, 其 DTI 图像 SNR 与 1.5T 相比明显增高(40%~120%)^[10-12]。因此笔者采用 3.0T 超导 MR 仪, 15 个扩散梯度编码方向对不同时脑梗死的 DC_{avg} 值及 FA 值进行研究。

本组超急性期脑梗死常规 T_1 WI、 T_2 WI 表现基本正常, 而平均 DC_{avg} 值明显降低, 推测是由于早期脑组织缺血、缺氧引起脑细胞线粒体氧化代谢过程障碍, Na-K-ATP 酶活性降低, 水钠潴留引起细胞毒性水肿。此时脑组织内总含水量尚没有明显变化, 常规 MRI 无明显异常改变。而细胞外水分子进入细胞内, 细胞外间隙变窄, 水分子扩散能力减弱; 同时细

胞内水分子受到细胞膜、细胞器等大分子结构的限制, 并且缺血时细胞内大分子物质分解, 黏稠度增加等因素, 进一步限制细胞内水分子扩散, DC_{avg} 值降低明显^[13]。

不同学者对超急性期脑梗死 FA 值的观察结果不同, 可能主要与各研究者所选取的观测时间点不同有关。本组平均 FA 值无一致性变化, 6 例 FA 值轻度减低, 9 例 FA 值轻度升高, 与 Harris 等^[14] 研究结果相似。FA 值轻度升高可能是由于细胞毒性水肿, 细胞外间隙变窄, 同时髓鞘纤维肿胀, 纤维束间间隙变小迂曲, 明显限制了垂直于纤维方向的水分子扩散运动, 造成扩散的各向异性增高, FA 值升高^[13,14]。

急性期脑梗死平均 DC_{avg} 值稍高于超急性期病例, 但仍低于正常脑组织, 推测主要是由于细胞毒性水肿或早期血管源性水肿, 使得蛋白质及离子通透性增加, 细胞间隙水份聚集, 脑细胞肿胀, 细胞外间隙减小, 水分子扩散受限, DC_{avg} 值减低。同时血-脑屏障轻度破坏, 水分子少量外渗, 细胞外间隙轻度增加, 梗死区扩

散程度可稍高于超急性期。而平均 FA 值呈一致性变化,均较超急性期及正常脑组织降低,其原因主要是细胞缺血坏死,细胞结构破坏,导致脑组织微观结构正常顺序丧失,造成各向异性显著降低,FA 值下降^[15,16]。

亚急性早期及晚期梗死平均 DC_{avg} 值较超急性期及急性期病例明显增高。亚急性早期病例 DC_{avg} 值仍低于正常脑组织,而亚急性晚期病例中有 4 例病灶 DC_{avg} 值仅较对侧脑组织轻度减低,8 例病灶 DC_{avg} 值较对侧脑组织增高。其原因主要是亚急性期梗死处于血管源性水肿期,血管内皮细胞损伤,细胞膜完整性破坏,大分子物质及水分子外渗出细胞外间隙成为游离水,脑组织含水量增加,水分子的扩散程度逐渐增大。至亚急性晚期时随着中性粒细胞及吞噬细胞增多,脑水肿加重,在细胞内外水的分布、黏滞度、渗透压等综合因素作用下, DC_{avg} 值明显增大,出现“假正常化”,并有增高趋势。亚急性期早期及晚期 FA 值呈持续性降低,反映脑组织的坏死已不可逆转,组织结构的正常顺序完全丧失,从而造成各向异性的显著降低^[16]。

总体观察脑梗死 DC_{avg} 值早期明显减低,随时间进展呈逐渐恢复升高的变化趋势,与病程分期间呈明显正相关。这不仅有利于早期发现梗死灶,同时还有助于新旧梗死灶的鉴别。而脑梗死 FA 值早期变化不一致,随后呈不可恢复性持续减低规律,与病程分期呈明显负相关。Yamada 等^[17]研究发现在缺血早期给予有效的临床治疗,病灶边缘 FA 值可恢复升高,提示这部分脑组织的微观结构得到改善,损伤脑组织的功能有望恢复,而 FA 值持续下降则说明脑组织变性坏死程度加重。因此 FA 的改变不仅反映梗死损伤的严重程度,并对梗死后的预后恢复提供信息。

综上所述,结合 DC_{avg} 和 FA 值,可以对脑梗死进行早期诊断、更加准确地进行临床分期,了解梗死的病理生理改变,可指导临床诊治并预测转归。

参考文献:

- [1] Wardlaw JM, Farrall AJ. Diagnosis of stroke on neuroimaging[J]. BMJ, 2004, 328(7): 655-656.
- [2] Roberts TP, Rowley HA. Diffusion weighted magnetic resonance imaging in stroke[J]. Eur J Radiol, 2003, 45(3): 185-194.
- [3] Edelman RR, Hesselink JR, Zlatkin MB, et al. Clinical magnetic

resonance imaging (3rd Ed) [M]. Philadelphia, Pa: Saunders, 2006. 1454-1498.

- [4] Guo AC, MacFall JR, Provenzale JM. Multiple sclerosis: diffusion tensor MR imaging for evaluation of normal-appearing white matter[J]. Radiology, 2002, 222(3): 729-736.
- [5] Klose U, Mader I, Unrath A, et al. Directional correlation in white matter tracks of the human brain[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 20(1): 25-30.
- [6] Basser PJ, Mattiello J, LeBihan D. Estimation of the effective self-diffusion tensor from the NMR spin echo[J]. J Magn Reson B, 1994, 103(3): 247-254.
- [7] Poonawalla AH, Zhou XJ. Analytical error propagation in diffusion anisotropy calculations[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 19(4): 489-498.
- [8] Jones DK. The effect of gradient sampling schemes on measures derived from diffusion tensor MRI: a monte carlo study[J]. Magn Reson Med, 2004, 51(4): 807-815.
- [9] 肖江喜, 郭雪梅, 王霄英, 等. 头部扩散张量磁共振成像扫描方案的优选[J]. 中国医学影像技术, 2003, 19(11): 1433-1435.
- [10] 倪建明, 沈天真, 陈星荣. 3.0T MR 弥散梯度编码方向对脑组织 FA 值测量的影响[J]. 医学影像学杂志, 2007, 17(7): 660-663.
- [11] Hunsche S, Moseley ME, Stoeter P, et al. Diffusion-tensor MR imaging at 1.5 and 3.0T: initial observations[J]. Radiology, 2001, 221(2): 550-556.
- [12] Willinek WA, Born M, Simon B, et al. Time-of-flight MR angiography: comparison of 3.0T imaging and 1.5T imaging-initial experience[J]. Radiology, 2003, 229(3): 913-920.
- [13] Liu Y, D'Arceuil HE, Westmoreland S, et al. Serial diffusion tensor MRI after transient and permanent cerebral ischemia in non-human primates [J]. Stroke, 2007, 38(1): 138-145.
- [14] Harris AD, Pereira RS, Mitchell JR, et al. A comparison of images generated from diffusion-weighted and diffusion-tensor imaging data in hyper-acute stroke [J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 20(2): 193-200.
- [15] Zelaya F, Flood N, Chalk JB, et al. An evaluation of the time dependence of the anisotropy of the water diffusion tensor in acute human ischemia[J]. Magn Reson Imaging, 1999, 17(3): 331-348.
- [16] Sotak CH. The role of diffusion tensor imaging in the evaluation of ischemic brain injury: a review[J]. NMR Biomed, 2002, 15(7): 561-569.
- [17] Yamada K, Ito H, Nakamura H, et al. Stroke patients' evolving symptoms assessed by tractography[J]. J Magn Reson Imaging, 2004, 20(6): 923-929.

(收稿日期: 2009-08-06 修回日期: 2009-11-09)