

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2017.07.014

· 临床研究 ·

应用弥散张量成像研究脑卒中后皮质脊髓束 各向异性分数与运动功能的关系

张丽华^{1a}, 米立新^{1a}, 郭龙军^{1b}, 王璐怡^{1a}

[摘要] **目的** 应用弥散张量成像(DTI)研究脑卒中后皮质脊髓束(CST)的各向异性与运动功能的关系。**方法** 2013年1月至2016年10月, 36例脑卒中患者分别在康复前及8周后行简式Fugl-Meyer评定(FMA)、金子翼上肢功能评定及DTI检查, 从内囊后肢、大脑脚、脑桥三个层面, 测量病灶侧CST和健侧相应部位各向异性分数(FA), 并进行相关性分析。**结果** 康复前后, 在CST 3个不同的层面上, 病灶侧FA均显著低于健侧($t > 5.330$, $P < 0.001$)。在内囊后肢层面上, 病灶侧FA康复后提高($t = -3.415$, $P < 0.05$), 在大脑脚、脑桥层面无显著性差异($t < 1.653$, $P > 0.05$); 健侧在三个层面上康复前后FA比较均无显著性差异($t < 1.021$, $P > 0.05$)。康复前后, 三个层面的FA与FMA评分、金子翼上肢功能评分均呈正相关($r > 0.43$, $P < 0.05$), 其中内囊后肢FA与金子翼上肢功能评分相关性较强($r = 0.67$)。**结论** DTI可用于评估脑卒中后CST损伤及其与运动功能的关系。

[关键词] 脑卒中; 皮质脊髓束; 弥散张量成像; 运动功能

Relationship between Fractional Anisotropy of Corticospinal Tract and Motor Function in Stroke Patients Using Diffusion Tensor Imaging

ZHANG Li-hua^{1a}, MI Li-xin^{1a}, GUO Long-jun^{1b}, WANG Lu-yi^{1a}

1. a. Rehabilitation Department, b. Radiology Department, Beijing Rehabilitation Hospital, Capital Medical University, Beijing 100144, China

Correspondence to MI Li-xin. E-mail: tianmetian@sina.com

Abstract: **Objective** To explore the relationship between fractional anisotropy (FA) of corticospinal tract (CST) and motor function in stroke patients using diffusion tensor imaging (DTI). **Methods** From January, 2013 to October, 2016, 36 stroke patients were evaluated with Fugl-Meyer Assessment (FMA), Japan Upper Limb Function Test and DTI before and eight weeks after rehabilitation. FA in posterior limb of internal capsule, cerebral peduncle and pons were obtained, including ipsilesional and contralesional CST. **Results** The FA values within three sections of CST were significantly lower in the ipsilesional side than in the contralesional side both before and after rehabilitation ($t > 5.330$, $P < 0.001$). In posterior limb of internal capsule, the FA value increased after rehabilitation ($t = -3.415$, $P < 0.05$), and no significant difference was found in the other two sections ($t < 1.653$, $P > 0.05$) in the ipsilesional side, as well as in all the sections in the contralesional side ($t < 1.021$, $P > 0.05$). The FA values were positively correlated with the scores of FMA and Japan Upper Limb Function Test in all the sections both before and after rehabilitation ($r > 0.43$, $P < 0.05$), especially the relationship between the FA value and the score of Japan Upper Limb Function Test in the posterior limb of internal capsule ($r = 0.67$). **Conclusion** DTI can be used to evaluate CST injury and the relationship between CST injury and motor function.

Key words: stroke; corticospinal tract; diffusion tensor imaging; motor function

[中图分类号] R743.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-9771(2017)07-0802-05

[本文著录格式] 张丽华, 米立新, 郭龙军, 等. 应用弥散张量成像研究脑卒中后皮质脊髓束各向异性分数与运动功能的关系[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(7): 802-806.

CITED AS: Zhang LH, Mi LX, Guo LJ, et al. Relationship between fractional anisotropy of corticospinal tract and motor function in stroke patients using diffusion tensor imaging [J]. Zhongguo Kangfu Lilun Yu Shijian, 2017, 23(7): 802-806.

作者单位: 1.首都医科大学附属北京康复医院, a.康复诊疗中心; b.放射科, 北京市 100144。作者简介: 张丽华(1980-), 女, 汉族, 河北阳原县人, 主治医师, 主要研究方向: 神经康复。通讯作者: 米立新, 女, 河北石家庄市人, 主任医师, 主要研究方向: 神经康复。E-mail: tianmetian@sina.com。

脑卒中为临床最常见的神经系统疾患，具有高致死率和高致残率的特点。卒中后皮质脊髓束(cortico-spinal tract, CST)的完整性是影响功能结局的因素之一。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)作为一种无创的能用于大脑纤维束显像的新技术，已成为目前研究神经网络的重要手段，它在CST的三维重建和可视化观察方面具有得天独厚的优势^[1]。其中各向异性分数(fractional anisotropy, FA)的大小与髓鞘的完整性、纤维致密性及平行性有密切关系，可以反映像轴突、髓鞘和微观的白质纤维方向的一致性程度以及微观结构的完整性^[2]。本研究拟采用DTI技术研究脑卒中后CST的FA与运动功能的关系。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2013 年 1 月至 2016 年 10 月本院收治的脑卒中患者 36 例，其中男性 23 例，女性 13 例；年龄 26~60 岁，平均(49.00±8.64)岁；脑出血 11 例，脑梗死 25 例；病程 7~28 d，平均(14.24±4.69) d。

纳入标准：①初次发病，脑梗死或脑出血后，病程 7~28 d；②单侧病灶，病灶位于基底节区，累及白质而无灰质受累；③年龄 18~60 岁；④无认知障碍；⑤无 MRI 检查禁忌症。

排除标准：①生命体征不平稳或者并发重要脏器衰竭；②四肢运动障碍；③既往曾有其他脑部疾病或脑部手术史；④恶性肿瘤病史。

所有患者均签署知情同意书，并经首都医科大学附属北京康复医院伦理委员会批准。

1.2 方法

所有患者分别在入院后、接受系统康复前及 8 周后进行功能评估，包括简式 Fugl-Meyer 评定量表

(Fugl-Meyer Assessment, FMA)、金子翼上肢功能评价和 DTI 检查。系统康复包括运动疗法、作业疗法、物理因子治疗、中医传统治疗等。根据患者病情制定个体化康复治疗方案，包括关节活动度训练、肌力训练、平衡训练、日常生活活动能力训练、手功能训练、步行训练等。

1.2.1 运动功能评定

采用简式 FMA 对所有受试者偏瘫侧肢体的运动功能进行评定，评分 0~100 分，分数越高代表运动功能越好。

金子翼上肢功能评价共有 10 项操作动作，对患者完成动作的时间进行计时，计算得分，金子翼上肢功能评价对手的运动速度、灵巧性和敏捷性比较敏感，对功能较好的上肢有很高的敏感性。

1.2.2 DTI 检查

使用 MR 360 1.5 T MR 扫描仪(美国 GE 公司)，8 通道头颈联合相控阵线圈。常规轴位 T₁ flair、T₂WI、FLAIR，矢状位 T₁WI 以及 DTI 序列。DTI 采用单次激发自旋回波(single-shot echo-planar imaging, EPI)平面回波技术，扫描参数 TR=8000 ms，TE=minimum；采集矩阵 128×128，NEX=2，视野(FOV)24×24 cm；层厚 5 mm，层间隔 0；弥散加权系数 b=0、b=1000 s/mm²，弥散敏感梯度方向 25 个。

采用 GE 工作站 FUNCTOOL 软件对 DTI 数据进行后处理，重建部分 FA。在病灶侧内囊后肢、大脑脚、脑桥绘出感兴趣区(region of interest, ROI)，面积约 25 mm²。利用 FUNCTOOL 软件的对称轴，结合手动调节，确定病灶对侧对称部位相应面积区域。测量各区域 FA，每个区域测 3 次，取平均值。具体部位见图 1~图 3。

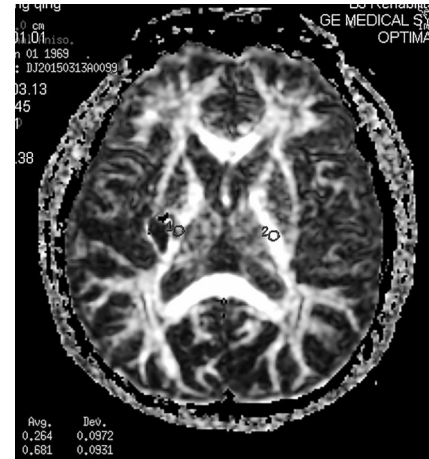


图 1 内囊后肢

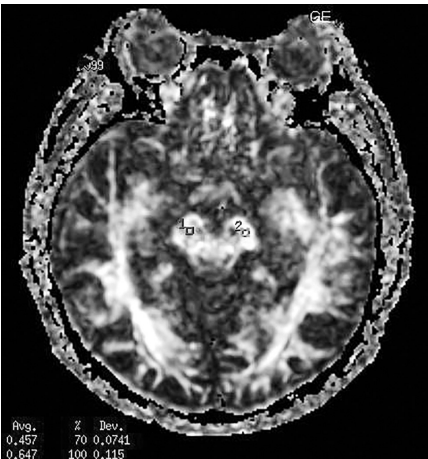


图 2 大脑脚

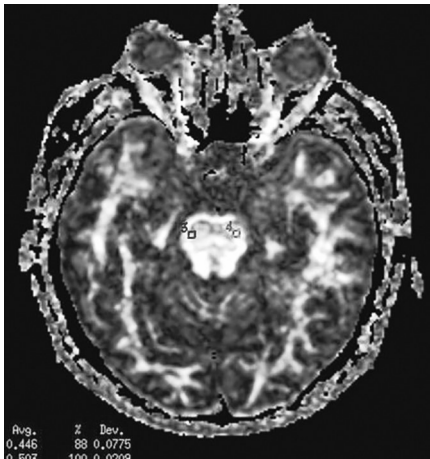


图 3 脑桥

1.3 统计学分析

采用 SPSS 18.0 统计软件进行处理。病灶侧与对侧 CST 的 FA 差异采用独立样本 *t* 检验, 康复前后 FA 差异采用配对 *t* 检验; 病灶侧 CST 不同层面的 FA 与运动功能参数采用 Pearson 相关性分析。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 两侧 FA 比较

康复前后, 在 CST 的 3 个不同层面上, 病灶侧 FA 均显著低于健侧相应脑组织 FA ($P<0.001$)。见表 1。

表 1 两侧 FA 比较

层面	时间	病灶侧	健侧	<i>t</i>	<i>P</i>
内囊后肢	康复前	0.286±0.156	0.645±0.061	-6.285	<0.001
	康复后	0.447±0.239	0.648±0.058	-5.330	<0.001
大脑脚	康复前	0.271±0.142	0.676±0.059	-7.023	<0.001
	康复后	0.285±0.135	0.662±0.042	-7.453	<0.001
脑桥	康复前	0.311±0.150	0.693±0.072	-5.987	<0.001
	康复后	0.301±0.162	0.695±0.069	-6.324	<0.001

2.2 康复前后 FA 比较

在内囊后肢层面上, 病灶侧 FA 康复后有所提高 ($P<0.05$), 在大脑脚、脑桥层面康复前后无显著性差异 ($P>0.05$)。健侧在三个层面上康复前后 FA 比较均无显著性差异 ($P>0.05$)。见表 2。

表 2 康复前后 FA 比较

层面	侧别	康复前	康复后	<i>t</i>	<i>P</i>
内囊后肢	病灶侧	0.286±0.156	0.447±0.239	-3.415	0.031
	健侧	0.645±0.061	0.648±0.058	-1.021	0.261
大脑脚	病灶侧	0.271±0.142	0.285±0.135	-1.653	0.105
	健侧	0.676±0.059	0.662±0.042	0.453	0.673
脑桥	病灶侧	0.311±0.150	0.301±0.162	0.964	0.307
	健侧	0.693±0.072	0.695±0.069	-0.208	0.877

2.3 FA 与运动评分的相关性

康复前后, 三个层面的 FA 与 FMA 评分、金子翼上肢功能评分均呈正相关 ($P<0.05$), 其中内囊后肢 FA 与金子翼上肢功能评分相关性较强。见表 3、表 4。

表 3 康复前 FA 与运动功能评分的相关性比较

层面	FA 与 FMA 评分		FA 与金子翼上肢功能评分	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
内囊后肢	0.58	0.032	0.65	0.021
大脑脚	0.43	0.040	0.48	0.008
脑桥	0.51	0.009	0.50	0.019

表 4 康复后 FA 与运动功能评分的相关性比较

层面	FA 与 FMA 评分		FA 与金子翼上肢功能评分	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
内囊后肢	0.58	0.024	0.67	0.018
大脑脚	0.44	0.038	0.40	0.023
脑桥	0.46	0.015	0.51	0.031

3 讨论

DTI 是在磁共振弥散加权成像基础上发展起来的一种成像方法, 其基本原理是水分子在不均质组织中具有弥散各向异性的特征, 从三维立体的角度分解、量化弥散各向异性的信号数据, 使组织微结构的显示更加微细准确。脑组织中的水分子也在不断地进行着弥散运动, 但它不仅受组织细胞本身特征的影响, 而且还受细胞内部结构的影响, 如鞘膜、细胞膜、白质纤维束。在具有固定排列顺序的组织结构, 如神经纤维束中, 水分子各个方向的弥散不同, 常倾向于沿神经纤维束走行的方向弥散, 很少沿着垂直于神经纤维束走行的方向弥散, 这种具有方向依赖性的弥散称为弥散的各向异性^[3]。其中最常用的主要参数是 FA, 是水分子各向异性成分占整个弥散张量的比例, 其范围为 0~1, 0 代表弥散不受限制, 如脑脊液的 FA 接近 0; 对于非常规则的具有方向性的组织, 其 FA 大于 0, 如大脑白质纤维 FA 接近 1。对神经纤维走行部位而言, FA 越大, 神经传导功能越强^[4-5]。

CST 是重要的运动传导束, 是运动控制的基础, 也是影响运动功能预后的主要结构, 在脑卒中后运动功能康复中研究也最多。许多研究均试图利用 DTI 探究 CST 在脑卒中患者运动功能中的详细作用^[6-9]。但受研究对象的数量、运动功能评估方法的多样性以及 DTI 评估选择的兴趣区域等因素影响, CST 在脑卒中患者运动功能中的作用还没有得到明确证实。

本研究通过观察三个层面 CST 的 FA, 发现康复前后, 病灶侧 FA 均低于健侧相应部位; 在内囊后肢层面, 病灶侧康复后 FA 较康复前提高, 病灶侧其余两个层面及健侧康复前后 FA 均无显著性差异。

病灶侧较健侧 FA 下降提示 CST 的损伤。赵津京等^[10]对 17 例急性脑梗死(发病<1 周)患者的研究发现, 健患侧 FA 差异在入院第 1 周和第 4 周比较有显著性差异, 第 4 周和第 12 周比较无显著性差异。刘青蕊等^[11]对 45 例由于 CST 受损所致运动功能障碍的不同时期脑梗死患者进行研究, 分析其 DTI 参数的变化特点, 结果显示患侧 FA 在超急性期无明显变化, 在急性期、亚急性期及慢性期逐渐降低, 与健侧比较有显著

性差异。刘树学等^[12]将急性期、亚急性期和慢性期脑梗死病灶区域平均 FA 与对侧比较, 均有显著性差异。

本组患者发病时间在 4 周之内, 健患侧 FA 差异在三个层面均有统计学意义。研究者对患者发病时间的选择、所选 ROI、课题设计等的不同, 产生不尽相同的结果, 因此, 还需要进一步大样本、长时间的深入研究。

病灶区域的远隔部位即大脑脚和脑桥层面的 FA 均较健侧明显下降, 提示 CST 的沃勒变性(Wallerian degeneration, WD)。WD 是指神经纤维被切断后, 其远端和部分近端轴索及所属髓鞘发生变性、崩解和被吞噬细胞吞噬的过程。凡中枢神经系统累及大脑半球及神经纤维通路的慢性病变, 如脑梗死、脑出血、脑外伤等均可成为致病原发灶, 其中以脑卒中最为常见。以往的研究^[13-15]均表明 DTI 可以早期发现卒中患者 CST 发生的 WD, 并且变性程度与慢性期运动功能有关, 主要选择早期(发病 2~3 周)大脑中动脉区卒中患者, 观察脑桥和大脑脚 CST, 进行 FA 分析, 运动功能评估时间为发病后 12 周, 评估指标有 Brunnstrom 分期和美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS), 均认为 DTI 可以早期发现 WD, 并有助于在早期预测卒中后运动功能的预后。2014 年 George 等^[16]报道 1 例 3 岁脑外伤后左侧大脑中动脉区广泛梗死女童 CST 的变化情况, 分别在损伤后 7 个月和 3.5 年进行 DTI 检查, 发现 7 个月时左侧锥体束 FA(0.6)明显低于右侧(0.9), 左侧锥体交叉前后径和左右径小于右侧, 3 年后 FA 二者差距进一步增加, 左侧降至 0.3, 而右侧达到 1.0, 锥体交叉面积两侧均有所增加, 但左侧仍小于右侧, 认为 DTI 不仅可以反映沃勒变性, 而且可以观察到锥体束的重组(面积的增加)。

本研究发现, 发病 4 周以内的卒中患者在大脑脚和脑桥层面的 CST 发生 WD, 与上述研究一致。下一步将进行更深入的研究, 如发生 WD 的时间、程度、WD 的动态变化等, 以及与运动功能预后的关系。

康复后患侧内囊层面 FA 较康复前有所提高, 提示内囊层面 CST 结构完整性有所改善, CST 损伤后发生重组。大脑脚和脑桥层面康复前后均无显著性差异, 提示随着发病时间的延长, 与病灶远端锥体束不同程度 WD 有关。Wei 等^[17]对 12 例亚急性脑卒中患者进行功能性电刺激治疗 20 d, 研究运动恢复过程中皮层激活与 CST 完整性之间的相关性, 结果表明, 病灶

同侧内囊后肢和大脑脚层面的 FA 治疗后较治疗前降低。凌晴等^[18]的研究发现, 康复后放射冠层面 CST 的 FA、FA 比值(rFA)变化有统计学意义, 内囊和大脑脚层面治疗前后均无显著性差异, 考虑 CST 微结构的修复改变与运动功能改善之间并非完全同步。Zheng 等^[19]利用 DTI 技术研究经颅直流电刺激联合康复训练对 10 例慢性卒中患者下行运动传导束白质结构变化的影响, 发现观察组治疗后损伤同侧辅助运动纤维(alternate motor fibers, aMF) FA 显著增加, 健侧未发现显著变化, 对照组的 CST 和 aMF 治疗后 FA 未发现显著变化。

目前关于治疗前后 CST 的 FA 变化的研究结论不尽相同, 因此, 仍需进行深入研究, 比如所选择的康复治疗技术、病程、病变部位是否一致, 反映 CST 完整性参数的敏感性等, 以及锥体外系、辅助运动纤维在卒中后运动功能恢复中的作用等都是今后研究的方向。

多项研究^[20-23]均表明, DTI 观察到 CST 损伤情况与卒中后运动功能恢复存在相关性, 而且根据目前研究结果, CST 与上肢功能的相关性更大。本研究发现, 康复前后三个层面的 FA 与 FMA 评分、金子翼上肢功能评分均存在相关性, 其中内囊后肢层面 CST 的 FA 与金子翼上肢功能评分存在强相关。吴志峰等^[24]对 18 例基底节区脑出血患者进行 DTI 检查, 分别在入院时、发病后 3 个月、6 个月进行肌力测定、NIHSS 评分, 对 CST 损伤程度和各个时期肌力、NIHSS 评分进行相关分析, 发现损伤侧 CST 受损程度和患肢肌力存在明显的相关性。黄东锋等^[25]对 11 例亚急性期脑梗死患者进行 DTI 和三维步态分析, 以及功能评估, 结果显示患侧 CST 的 FA 与运动功能评分无明显相关性, 与本研究结论不一致。凌晴等^[26]对脑出血组和脑梗死组患者分别进行研究, 发现脑出血组大脑脚、内囊后肢、放射冠区 3 个层面 CST 的 FA、rFA 和 FA 不对称性(FAasy)均与 FMA 评分之间存在相关性, 且放射冠层面有显著相关性; 而初级皮质运动区层面的 FA、rFA 和 FAasy 与 FMA 评分之间无明显相关性; 脑梗死组大脑脚、内囊后肢、放射冠区、初级皮质运动区 4 个层面的 FA、rFA 和 FAasy 均与 FMA 评分之间存在相关性, 且放射冠层面有显著相关性。

总之, 本研究应用 DTI 技术对脑卒中后 CST 的 FA 与运动功能的关系进行初步研究, 发现病灶侧 CST 受损并发生 WD, 而且 CST 的 FA 与运动功能存在相

关性,尤其是内囊后肢层面与上肢功能。但是,本研究仍然存在一定的局限性,所选研究对象发病时间跨度较大,缺乏对 CST 变化的动态观察,而且样本量较小。今后的研究将进一步扩大样本量、对研究对象根据发病时间进行细化分组、丰富 DTI 参数,为临床判断预后提供依据。

[参考文献]

- [1] Kunimatsu A, Aoki S, Masutani Y, et al. The optimal trackability threshold of fractional anisotropy for diffusion tensor tractography of the corticospinal tract [J]. Magn Reson Med Sci, 2004, 3(1): 11-17.
- [2] Puig J, Pedraza S, Blasco G, et al. Acute damage to the posterior limb of the internal capsule on diffusion tensor tractography as an early imaging predictor of motor outcome after stroke [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2011, 32(5): 857-863.
- [3] 王健利,谢敬霞. 成人脑组织水分子扩散的各向异性[J]. 中华放射学杂志, 1999, 33(10): 67-51.
- [4] Barrick TR, Clark CA. Singularities in diffusion tensor fields and their relevance in white matter fiber tractography [J]. Neuroimage, 2004, 22(2): 481-491.
- [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] Maraka S, Jiang Q, Jafari-Khouzani K, et al. Degree of corticospinal tract damage correlates with motor function after stroke[J]. Ann Clin Transl Neurol, 2014, 1(11): 891-899.
- [7] Hong JS, Kim JM, Kim HS. Correlation between ambulatory function and clinical factors in hemiplegic patients with intact single lateral corticospinal tract: A pilot study [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(31): e4360.
- [8] Yang HE, Kyeong S, Lee SH, et al. Structural and functional improvements due to robot- assisted gait training in the stroke-injured brain. [J]. Neurosci Lett, 2017, 637(1): 114-119.
- [9] Jang SH, Lee J, Lee MY, et al. Prediction of motor outcome using remaining corticospinal tract in patients with pontine infarct: Diffusion tensor imaging study [J]. Somatosens Mot Res, 2016, 33(2): 99-103.
- [10] 赵津京,王凯,杨志丽. 磁共振扩散张量成像联合 Fugl-Meyer 量表对老年急性脑梗死患者疗效评估的作用[J]. 中国脑血管病杂志, 2014, 11(12): 639-642.
- [11] 刘青蕊,赵静,国丽茹,等. 磁共振弥散张量成像在脑梗死中的应用[J]. 脑与神经疾病杂志, 2011, 19(5): 345-348.
- [12] 刘树学,王本国,莫雪玲,等. 磁共振弥散张量成像(DTI)在脑梗死皮质脊髓束损伤与运动功能转归相关性中的应用研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2011, 9(5): 28-31.
- [13] Watanabe T, Honda Y, Fujii Y, et al. Three-dimensional anisotropy contrast magnetic resonance axonography to predict the prognosis for motor function in patients suffering from stroke [J]. J Neurosurg, 2001, 94(6): 955-960.
- [14] Thomalla G, Glauche V, Koch MA, et al. Diffusion tensor imaging detects early Wallerian degeneration of the pyramidal tract after ischemic stroke [J]. Neuroimage, 2004, 22(4): 1767-1774.
- [15] Jason E, Dastidar P, Kallikokoski A, et al. Diffusion tensor imaging of chronic right cerebral hemisphere infarctions [J]. J Neuroimaging, 2011, 21(4): 325-331.
- [16] George E, Heier L, Kovanlikaya I, et al. Diffusion tensor imaging of pyramidal tract reorganization after pediatric stroke [J]. Childs Nerv Syst, 2014, 30(6): 1135-1139.
- [17] Wei W, Bai L, Wang J, et al. A longitudinal study of hand motor recovery after subacute stroke: A study combined fMRI with diffusion tensor imaging [J]. PLoS One, 2013, 8(5): e64154.
- [18] 凌晴,林丽萍,胡世红,等. 脑卒中患者康复治疗前后皮质脊髓束的磁共振弥散张量成像研究[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21(5): 509-513.
- [19] Zheng X, Schlaug G. Structural white matter changes in descending motor tracts correlate with improvements in motor impairment after undergoing a treatment course of tDCS and physical therapy [J]. Front Hum Neurosci, 2015, 30(9): 229.
- [20] Jang SH, Kim K, Kim SH, et al. The relation between motor function of stroke patients and diffusion tensor imaging findings for the corticospinal tract [J]. Neurosci Lett, 2014, 572(6): 1-6.
- [21] Koyama T, Marumoto K, Miyake H, et al. Relationship between diffusion tensor fractional anisotropy and motor outcome in patients with hemiparesis after corona radiata infarct [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2013, 22(8): 1355-1360.
- [22] Sterr A, Dean PJ, Szameitat AJ, et al. Corticospinal tract integrity and lesion volume play different roles in chronic hemiparesis and its improvement through motor practice [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2014, 28(4): 335-343.
- [23] Jang SH, Kwon HG. Change of the anterior corticospinal tract on the normal side of the brain in chronic stroke patients: Diffusion tensor imaging study [J]. Somatosens Mot Res, 2015, 32(1): 25-30.
- [24] 吴志峰,王如密,郑兆聪,等. 弥散张量纤维束成像在高血压性脑出血患者神经功能恢复评估中的应用研究[J]. 中国康复医学杂志, 2011, 26(2): 112-115.
- [25] 黄东锋,李乐,毛玉琰,等. 脑卒中后神经网络损害与下肢步行功能结局的关系[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(9): 787-791.
- [26] 凌晴,林丽萍,胡世红,等. 磁共振弥散张量成像在脑卒中后皮质脊髓束损伤与运动功能的相关性研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(2): 140-144.

(收稿日期:2017-02-14 修回日期:2017-03-12)