

脑卒中皮质脊髓束及皮质脑桥束损伤的磁共振扩散张量成像研究

任小军, 常正伟, 关荣, 张宇萌, 代海琳, 董小宪, 张佳, 李妮, 赵江伟

西安中医脑病医院医学影像中心, 陕西 西安

收稿日期: 2026年3月10日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月14日

摘要

目的: 探讨磁共振扩散张量成像检测脑卒中皮质脊髓束及皮质脑桥束的损伤及对康复及针灸治疗疗效的预测价值。方法: 前瞻性纳入2025年6月至2025年12月脑卒中发病1个月内肢体运动功能障碍患者36例, 所有患者行头颅磁共振扩散张量成像(DTI)检查, 测量患侧和健侧皮质脊髓束(CST)、皮质脑桥束(CPT)的DTI定量参数: 各向异性指数(FA)和纤维数量(FN), 计算患侧CST及CPT的相对FA值(rFA)、相对FN值(rFN), 使用配对样本T检验及非参数秩和检验对患、健侧CST及CPT的FA和FN值进行差异性分析; 运用Pearson相关分析法分析DTI参数与康复及针灸治疗1个月后的日常生活活动能力(Activity of Daily Living, ADL)评分之间的相关性, 有统计学差异的参数的诊断效能均通过受试者工作特性曲线进行分析。结果: 患侧CST的FA值及CPT的FA和FN值均显著低于健侧($P < 0.05$); CST的FA、rFA及CPT的FA、rFA与ADL评分均具有相关性($P < 0.05$), CST的rFA的AUC值最高, 为0.849; CST及CPT的FN、rFN与ADL均无相关性($P > 0.05$)。结论: 磁共振扩散张量成像可以检测脑卒中皮质脊髓束及皮质脑桥束的损伤, 对康复及针灸治疗一个月后肢体功能恢复具有预测价值。

关键词

脑卒中, 磁共振成像, 扩散张量成像, 皮质脊髓束, 皮质脑桥束

Magnetic Resonance Diffusion Tensor Imaging of the Corticospinal Tract and Corticopontine Tract Injury in Stroke

Xiaojun Ren, Zhengwei Chang, Rong Guan, Yumeng Zhang, Hailin Dai, Xiaoxian Dong, Jia Zhang, Ni Li, Jiangwei Zhao

Department of Medical Imaging Center, Xi'an TCM Hospital of Encephalopathy, Xi'an Shaanxi

Received: March 10, 2026; accepted: April 3, 2026; published: April 14, 2026

文章引用: 任小军, 常正伟, 关荣, 张宇萌, 代海琳, 董小宪, 张佳, 李妮, 赵江伟. 脑卒中皮质脊髓束及皮质脑桥束损伤的磁共振扩散张量成像研究[J]. 医学诊断, 2026, 16(2): 252-259. DOI: 10.12677/md.2026.162034

Abstract

Objective: To investigate the MR diffusion tensor imaging in detecting the injury of the corticospinal tract and corticopontine tract in stroke and predicting the efficacy of rehabilitation and acupuncture. **Methods:** A prospective study was conducted on 36 patients with limb motor dysfunction within one month after stroke onset from June 2025 to December 2025. All patients underwent MR diffusion tensor imaging (DTI) to measure quantitative parameters of the ipsilesional and contralesional corticospinal tract (CST) and corticopontine tract (CPT): anisotropy index (FA) and fiber number (FN). The relative FA values (rFA) and relative FN values (rFN) of the ipsilesional CST and CPT were calculated. Paired-sample T-tests and nonparametric rank-sum tests were used to analyze the differences in FA and FN values between the ipsilesional and contralesional sides. Pearson correlation analysis was employed to assess the correlation between DTI parameters and the Activity of Daily Living (ADL) scores after one month of rehabilitation and acupuncture treatment. The diagnostic efficacy of parameters with statistically significant differences was analyzed using the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results:** The FA values of the ipsilesional CST and CPT, as well as the FN values of ipsilesional CPT, were significantly lower than those of the contralesional sides ($P < 0.05$). The FA, rFA of the ipsilesional CST and CPT were all correlated with ADL scores ($P < 0.05$), with the highest AUC value of rFA for the ipsilesional CST (0.849). No correlation was found between the FN and rFN values of the ipsilesional CST and CPT and ADL scores ($P > 0.05$). **Conclusion:** Diffusion tensor imaging can reveal the damage of the corticospinal tract and the corticopontine tract in stroke patients, and it can predict the rehabilitation of limb function after one month of rehabilitation and acupuncture.

Keywords

Stroke, Magnetic Resonance Imaging (MRI), Diffusion Tensor Imaging (DTI), Corticospinal Tract, Corticopontine Tract

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

脑卒中是威胁人类健康和生命的常见疾病，是成人致死、致残的主要原因[1]，常引起皮质脊髓束(Corticospinal, CST)和皮质脑桥束(Corticopontine Tract, CPT)损伤，导致患者肢体活动不利等功能障碍，严重影响预后和生活自理能力。磁共振扩散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI)和扩散张量纤维束成像(Diffusion Tensor Tractography, DTT)能在活体无创显示和分析脑白质纤维束形态、病灶与神经纤维束的关系，以及病灶对纤维束的损伤及损伤程度，对指导临床治疗和评估预后具有重要意义[2]-[4]。DTI对脑卒中引起肢体功能障碍的研究多集中在CST的损伤，未见对CPT损伤的研究报道。康复及针灸治疗是脑卒中恢复肢体功能的主要手段[5]，患者肢体功能恢复与CST的重建、功能代偿密切相关，但与CPT的关系尚不清楚。因此，本研究的目的是应用磁共振DTI技术检测卒中对CST和CPT的损伤，以及CST和CPT与康复和针灸治疗后肢体功能恢复的关系，以预测康复及针灸治疗后肢体功能恢复情况，为患者的个性化的诊疗方案提供重要的参考信息。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

前瞻性纳入 2025 年 6 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日西安中医脑病医院卒中引起肢体运动功能障碍 1 个月内的患者 36 例, 其中男 20 例, 女 16 例, 年龄最小 42 岁, 最大 90 岁, 平均 66.3 岁, 发病 3 天至 30 天, 脑梗死 29 例, 脑出血 7 例, 病灶位于基底节区 20 例, 丘脑 3 例, 脑桥 4 例, 大脑半球 9 例。入院 NIHSS 评分 1~12 分, 中位数 6 分; 入院治疗一个月后 ADL 评分 0~105 分, 中位数 68 分。

纳入标准: 1) 脑梗死或脑出血首次发病; 2) 伴有肢体运动功能障碍, 且发病 3 天至 30 天; 3) 意识清楚, 能配合完成磁共振平扫、3D-T1WI 及 DTI 检查; 4) 右利手。

排除标准: 1) 颅内其他严重疾病, 如肿瘤、严重脑白质变性; 2) 颅内金属植入物或手术病史; 3) 合并严重心、肺、肾等重要脏器衰竭病情不稳; 4) 精神疾病; 5) 磁共振检查禁忌证; 6) 扫描中患者运动, 产生图像伪影或影响后处理; 7) 严重言语、听觉或认知障碍等无法配合临床评分。

2.2. 磁共振 DTI 扫描和后处理

2.2.1. 磁共振 DTI 扫描

检查设备为 3.0T 磁共振仪(Siemens Magnetom Lumina), 20 通道相控阵头线圈, 先行头颅平扫和扩散加权成像(DWI)诊断脑梗死、排除颅内其他疾病, 再行 3D-T1WI 和 DTI 扫描, DTI 扫描参数: 扩散敏感单次激发回波成像序列(single-shot echo-planar imaging sequence), TR = 10,600 ms, TE = 93 ms, matrix = 128 × 128, b 值 = 0、1000 s/mm², NEX = 2, 扩散敏感梯度方向为 30, 层厚 = 2 mm, 层间距 = 0 mm。

2.2.2. 图像后处理

后处理软件为 DTI dsi_studio。将扫描 DTI 的 DICOM 原始数据从工作站导出, 采用 MRIcroGL 和 dcm2niigui 工具包将导出的 DICOM 数据转换为 NifTI 格式, 先进行涡流和头部运动校正, 最后导入 dsi_studio, 重建参数 FA 阈值 0.2, 角度阈值 60 度, 生成各向异性分数(Fractional Anisotropy, FA)图、扩散张量纤维束成像(DTT)图, 统计出患侧和健侧皮质脊髓束(CST)、皮质脑桥束(CPT)的各向异性指数(FA)和数量(FN), 并计算患/健侧的相对 FA(rFA)和相对 FN(rFN)。

2.3. 临床康复及针灸治疗

康复方法: 骨盆前后倾训练, 桥悬臂运动, 躯干选择性分离运动, 足底感觉输入, 多裂肌的激活, 踝策略的训练, 步态训练。时间: 1 小时/次。次数: 每周六次。

针灸治疗: 针灸穴位, 上肢: 肩贞、肩髃、肩髃、臂臑、手五里、曲池、尺泽等, 下肢: 髌关, 伏兔, 阴市, 梁丘, 血海, 足三里, 上巨虚等。针灸方法: 普针, 天数: 10 天一个疗程。周期: 3 个疗程。

2.4. 统计学方法

本研究对患、健侧的 CST 及 CPT 的 FA 和 FN 值进行差异性分析, 符合正态分布选用配对样本 T 检验, 不符合正态分布选用非参数秩和检验; 运用 Pearson 相关分析法评估 DTI 参数(包括 FA、FN、rFA、rFN)与康复及针灸治疗 1 个月后的 ADL 评分之间的相关性(0.00~0.19 为极弱相关; 0.20~0.39 为弱相关; 0.40~0.59 为中等相关; 0.60~0.79 为强相关; 0.80~1.00 为极强相关)。对达到统计学显著性($P < 0.05$)的参数, 进一步构建受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic curve, ROC), 通过计算曲线下面积(Area Under the Curve, AUC)以及最佳临界值对应的灵敏度与特异度, 量化评估其独立诊断效能。为提升诊断准确性, 采用多变量 logistic 回归模型整合具有显著相关性的参数, 生成联合预测概率并绘制复合

ROC 曲线。诊断效能的评判以 AUC 值为主要评价指标,其数值越趋近于 1 提示诊断准确性越高。所有数据采用 SPSS 28.0 软件进行统计学分析,统计学结果 $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 磁共振 DTI 检查情况

纳入 36 例患者的磁共振 DTI 及 DTT 图像显示,患侧 CST 和 CPT 较健侧的数量减少或中断、破坏分别为 30 例和 33 例(图 1),CST 和 CPT 患侧数量多于健侧分别为 6 例和 3 例。

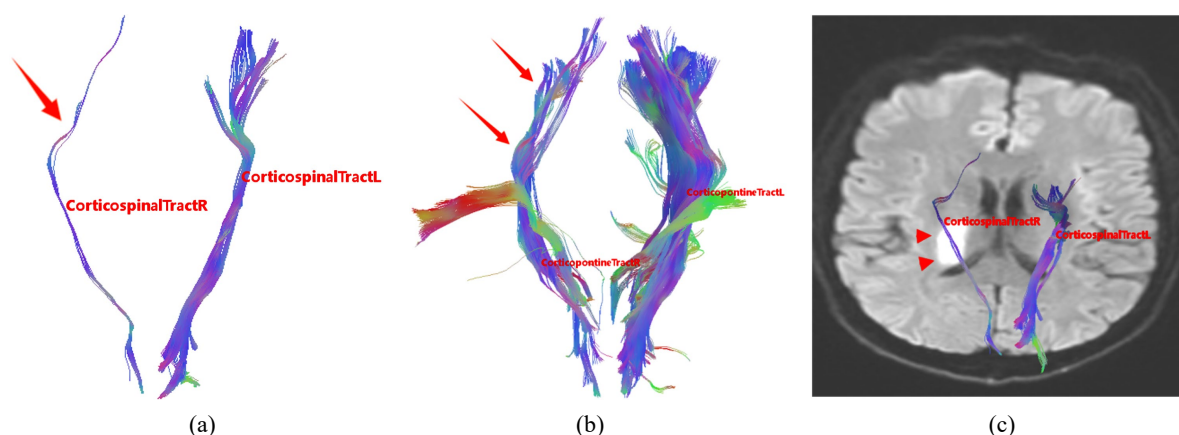


Figure 1. Right basal ganglia cerebral infarction. (a) and (b) show DTT images demonstrating significant reduction and destruction of the right corticospinal tract (single arrow) and right corticopontine tract (double arrow) compared to the left side. (c) shows the fusion image of DWI and DTT, with the right corticospinal tract adjacent to the right infarct lesion (arrowhead)
图 1. 右侧基底节区脑梗死, (a)、(b) DTT 图分别示右侧皮质脊髓束(单箭)及右侧皮质脑桥束(双箭)较左侧明显减少、破坏; (c) DWI 与 DTT 融合图像示, 右侧皮质脊髓束邻近右侧脑梗死病灶(箭头)

3.2. 统计结果

3.2.1. 患侧与健侧的 CST 和 CPT 的 FA 值比较

在患侧与健侧 CST 与 CPT 的 FA、rFA 值的差异性分析中,患、健侧 CST 的 FA 及 CPT 的 FA 和 FN 值差异有统计学意义($P < 0.05$),患侧均显著低于健侧,患、健侧 CST 的 FN 值差异无统计学意义($P > 0.005$) (表 1)。

Table 1. Comparison of FA and FN values between controlesional and ipsilesional CST and CPT
表 1. CST 及 CPT 健、患侧 FA、FN 值比较

变量	健侧	患侧	t/Z 值	P
	[$\bar{x} \pm S, M(Q1, Q3)$]			
FA-CST	0.585(0.563, 0.608)	0.530 (0.490, 0.575)	-3.670 ^b	<0.001
FN-CST	2019.50 (710.25, 2789.75)	1122.50 (461.25, 2787.75)	-1.269 ^b	0.20
FA-CPT	0.550 \pm 0.480	0.500 \pm 0.798	-4.651	<0.001
FN-CPT	6918.40 \pm 2914.25	5045.80 \pm 3555.73	-2.409	0.026

3.2.2. 患侧 CST 和 CPT 的 DTI 测量数值与临床 ADL 评分比较

经康复及针灸治疗一个月后,肢体运动功能 2 例仍为 0 分,其余 34 例均有部分恢复,ADL 评分为

33 分-105 分。DTI 测量参数与康复及针灸治疗 1 个月后 ADL 评分的 Pearson 相关系数见表 2，CST 和 CPT 的 FA、rFA 与 ADL 评分均呈正相关(Pearson 相关系数分别为 0.587、0.696、0.567、0.609, $P < 0.05$)，其中 CST 的 rFA 值的 Pearson 相关系数最大。

Table 2. Correlation between CST and CPT ipsilesional parameters and ADL scores

表 2. 患侧 CST 及 CPT 参数与 ADL 评分表相关性

参数	相关系数	<i>P</i> 值
FA-CST	0.587**	0.006
FN-CST	0.225	0.339
rFA-CST	0.696**	0.001
rFN-CST	-0.035	0.885
FA-CPT	0.567**	0.009
FN-CPT	0.288	0.218
rFA-CPT	0.609**	0.004
rFN-CPT	0.190	0.421

注：**表示在 0.01 级别(双尾)，相关性显著；*显示在 0.05 级别(双尾)，相关性显著。

在预测 DTI 对于脑卒中患者康复及针灸治疗疗效的诊断效能中，CST 及 CPT 的 FA、rFA 的 AUC 值分别为 0.786、0.849 及 0.755、0.818，基于 CST、CPT 的 FA、rFA 构建的联合诊断模型的 AUC 值为 0.813。CST 的 rFA 在预测 DTI 对于脑卒中患者康复及针灸治疗疗效的诊断中具有最佳的诊断效能，CPT 的 rFA 次之(表 3)，ROC 曲线分析结果见图 2。

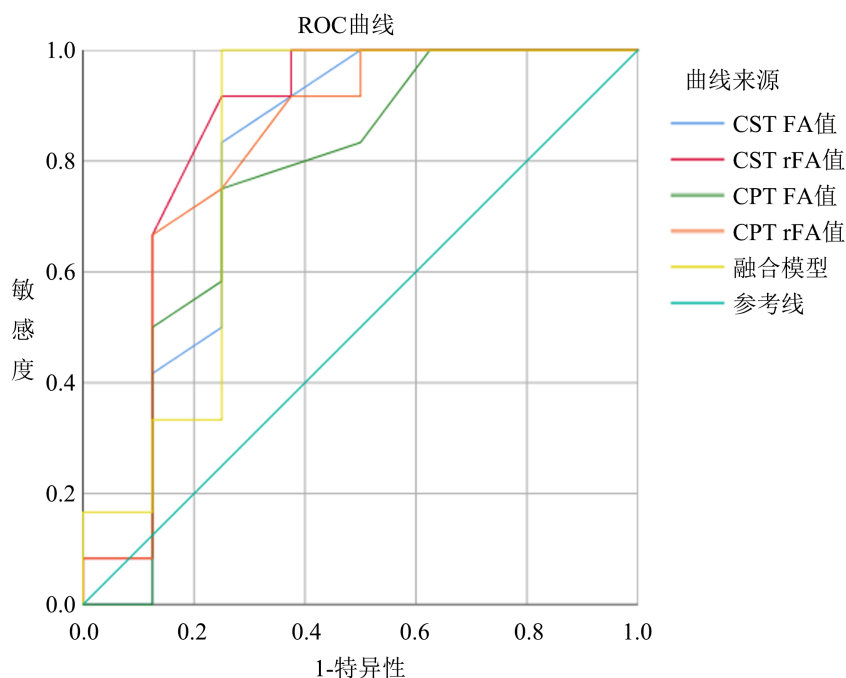


Figure 2. ROC curves of FA, rFA values, and their combined model for predicting limb functional recovery in CST and CPT
图 2. CST 及 CPT 的 FA 值、rFA 值及其联合模型预测肢体功能康复的 ROC 曲线

Table 3. ROC curve analysis results of predicting limb functional rehabilitation based on ipsilesional CST and CPT parameters
表 3. 患侧 CST 及 CPT 参数预测肢体功能康复的 ROC 曲线分析结果

参数	AUC (95%置信区间)	敏感度	特异度	cutoff
FA-CST	0.786 (0.539~1.000)	0.83	0.75	0.52
rFA-CST	0.849 (0.634~1.000)	0.92	0.75	0.92
FA-CPT	0.755 (0.509~1.000)	0.75	0.75	0.50
rFA-CPT	0.818 (0.597~1.000)	0.92	0.63	0.91
联合诊断	0.813 (0.576~1.000)	0.92	0.75	0.57

注：AUC：曲线下面积；cutoff：截断值。

4. 讨论

磁共振 DTI 是利用水分子在白质纤维中扩散运动的各向异性特性，探测组织的微观形态及结构改变。其最常用的参数 FA 值可定量评估组织的各向异性程度，范围为 0~1 之间，反映神经纤维髓鞘的完整性、轴突的连续性和纤维排列的紧密程度[6]，值越大表示各向异性程度越大，纤维束越完整、越紧密，值越小，表示各向异性程度越低，髓鞘和轴突破坏范围越大、程度越重，残留纤维数量越少。FN 为 DTT 追踪显示的纤维束数量，神经纤维破坏越严重，FN 数量越少。文献利用 DTI 技术研究脑卒中 CST 损伤较多，但未发现对 CPT 的研究报道，可能因为 CST 是支配肢体运动最关键的神经纤维束，其完整与否，对脑梗死患者运动功能恢复起着决定性作用[7] [8]，并且以前的研究后处理软件多采用手动勾画 CST 走行中的感兴趣区重建 CST，因 CST 走行较集中且位置固定，容易识别和重建；而 CPT 对肢体运动功能的作用不及 CST 重要，且分散于额、顶、颞、枕叶，后处理时难以准确勾画和重建。本研究利用第三方 DTI ds-studio 软件自动追踪技术重建 CST 和 CPT，得出其 FA 和 FN 重要参数。CPT 是指起源于大脑皮质，终止于脑桥的神经纤维束，发出额桥束、颞桥束、顶桥束和枕桥束至脑桥核，脑桥核发出的纤维通过小脑中脚投射到对侧小脑皮质及小脑核，从而参与皮质 - 脑桥 - 小脑通路，调控下运动神经元的活动，参与精细动作和躯干、下肢动作的控制。

本研究表明，卒中后患侧 CST 受到损害，患侧 FA 值和 rFA 均明显降低，与文献报道一致[9] [10]。CST 的 FA 值降低，已成为卒中肢体功能损害的神经影像标记物[11] [12]，通过 CST 的 FA 值和 rFA，可判断 CST 损伤程度，并且与临床评分呈正相关，即 FA 值和 rFA 越低，CST 损伤越明显，肢体运动功能障碍越严重，临床肢体功能评分越低[13]。本研究发现，卒中后除了 CST 外，CPT 也受到损害，其 FA 和 FN 值均降低，表明皮层到脑桥神经纤维的髓鞘和轴突破坏、中断，数量减少，导致调控下运动神经元及参与精细动作和躯干、下肢动作的控制减弱或丧失，从而影响肢体运动功能的康复。本研究中，患侧 CST 和 CPT 分别有 6 例和 3 例的数量多于健侧，分析梗死灶部位及其与纤维束的关系后发现，这几例 CST 和 CPT 走行于梗死病灶旁而未发生破坏和中断，且受到梗死灶水肿推挤，并且 CST 和 CPT 可能存在偏侧优势，左侧数量多于右侧，所以 DTI 追踪出患侧纤维束数量多于健侧，导致本组病例 CST 的纤维数量 (FN) 在患侧和健侧间没有统计学差异。

卒中患者 ADL 评分即日常生活活动评分，评分内容主要包括进食、梳妆、洗漱、洗澡、如厕、穿衣等，反映了患者肢体功能的恢复程度，总分 105 分，评分越高，反映肢体功能越好。本研究发现，CST 及 CPT 的 FA 及 rFA 均与 ADL 评分呈正相关，且 CST 的 rFA 的相关性最高，而 CST 及 CPT 的 FN、rFN 与 ADL 均无相关性，表明卒中后患者的 CST 及 CPT 的 FA 及 rFA 值均可以预测康复及针灸治疗 1 月后肢体功能的恢复情况。CST 和 CPT 的 FA 和 rFA 值越高，康复及针灸治疗疗效越好，患者肢体功能恢复

越好, FA 和 rFA 值越低, 患者肢体功能恢复越差。CST 的 rFA 在预测 DTI 对于脑卒中患者康复及针灸治疗疗效中具有最佳效能, CPT 的 rFA 次之, 而 CST 和 CPT 多参数联合模型则位于前两者之后, 其原因可能为, 一是样本量不足导致效能下降, 二是引入变量的相关性增加模型的复杂性, 降低模型的泛化能力和效能, 三是联合模型中的变量之间存在共线性, 导致模型参数估计不稳定, 预测效能降低。因此, 作者推荐 DTI 的 CST-rFA 和 CPT-rFA 作为脑卒中康复及针灸治疗疗效的预测因子。康复及针灸治疗后肢体功能恢复良好, CST 的 FA 和 rFA 截断值分别为 0.52 和 0.92, CPT 的截断值为 0.50 和 0.91, 表明对于 CST 的 FA 和 rFA 值分别高于 0.52 和 0.92, CPT 的 FA 和 rFA 值高于 0.50 和 0.91, 患者的肢体功能一个月后可能恢复良好, 而对于 CST 和 CPT 的 FA 及 rFA 显著低于此值的患者, 可能 1 月后康复及针灸治疗效果差, 肢体功能恢复不良。因此, 在康复和针灸治疗脑卒中肢体运动功能不良时, 不但要重点针对 CST 功能的康复和治疗, 也要针对 CPT 调控相关通路的康复和针灸治疗, 最终才能取得较好的康复效果。

本研究存在一些局限性, 首先, 样本量相对不足, 可能会影响结果的准确性; 其次, 未计算 CST 和 CPT 的其他参数: 平均扩散率(MD)、径向扩散系数(RD)和轴向扩散系数(AD), 但文献和本研究都发现 FA 值是反映神经纤维束完整性和卒中对神经纤维损伤程度最重要的指标; 最后是本研究未观察 CST 中额桥束、顶桥束、枕桥束和颞桥束每一种纤维束在卒中中的损伤和各自纤维束与 ADL 的关系, 这需要后续收集大量样本进一步分组研究。

总之, 本研究应用磁共振 DTI 技术检测卒中 CST 和 CPT 的损伤及其参数与康复和针灸治疗后肢体功能恢复的关系, 发现患侧 CST 的 FA 值及 CPT 的 FA 值、FN 值均显著低于健侧, 且 CST 的 FA、rFA 及 CPT 的 FA、rFA 与康复和针灸治疗 1 月后的 ADL 评分成正相关, CST 的 rFA 的诊断效能最高, CST 及 CPT 的 FN、rFN 与 ADL 评分均无相关性; 康复及针灸治疗后肢体功能恢复良好, 患侧 CST 的 FA 和 rFA 截断值分别为 0.52 和 0.92, CPT 的截断值为 0.50 和 0.91。因此, 磁共振 DTI 可以检测卒中对 CST 和 CPT 的损伤, 并预测康复及针灸治疗 1 月后肢体功能恢复情况, 对临床进行康复及针灸治疗具有较高的指导价值。

声 明

本研究获得西安中医脑病医院伦理委员会批准(审批号: 2023-18), 患者均签署知情同意书。

基金项目

西安市科技计划项目, 编号: 2024JH-YLYB-0474。

参考文献

- [1] 刘晶, 卢洁. 脑梗死伴步态障碍患者脑白质扩散张量成像研究进展[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025, 27(6): 824-826.
- [2] 周胜强, 伍大华, 李博, 等. 芪仙通络方对脑梗死大鼠健侧皮质脊髓束重塑及运动功能恢复的影响及机制[J]. 中药新药与临床药理, 2024, 35(9): 1319-1328.
- [3] 曾皎, 陈红群, 刘芳. 弥散张量成像评估急性脑梗死康复治疗前后运动功能变化与预后的相关性[J]. 中风与神经疾病杂志, 2016, 33(4): 334-337.
- [4] 翁娜, 邵翠杰, 李国栋, 宾莉, 黄丹琪, 王旭. MRI 信号强度比联合扩散张量成像定量分析缺血性脑卒中大鼠髓鞘早期结构改变的研究[J]. 磁共振成像, 2022, 13(10): 150-156.
- [5] 杨福霞, 侯冬梅, 高进云等. 针灸治疗对脑梗死后运动功能和皮质脊髓束损伤效果的神经影像学观察[J]. 中国康复理论与实践, 2021, 27(11): 1312-1317.
- [6] 吴泳儿, 李静, 厉励, 侯思远. 中风后运动功能恢复相关神经重塑机制的 MRI 研究进展[J]. 磁共振成像, 2023, 14(12): 132-135, 155.

-
- [7] 薛倩, 卢春强, 彭程宇, 李琳, 王超, 滕皋军. 慢性脑桥卒中: 皮质脊髓束扩散张量成像反映运动功能预后[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(3): 368-372.
- [8] Lin, L.Y., Ramsey, L., Metcalf, N.V., Rengachary, J., Shulman, G.L., Shimony, J.S., *et al.* (2018) Stronger Prediction of Motor Recovery and Outcome Post-Stroke by Cortico-Spinal Tract Integrity than Functional Connectivity. *PLOS ONE*, **13**, e0202504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202504>
- [9] 魏戡, 余秋蓉, 尹大志等. 基于健康人皮质脊髓束模板分析脑卒中皮质脊髓束损伤[J]. 磁共振成像, 2021, 12(7): 39-44+68.
- [10] 郝清, 丁思萱, 李冬雪, 刘怀军, 王宁. 应用扩散张量成像技术对急性缺血性卒中机体功能障碍与锥体束损伤程度的相关性研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(1): 3-8, 20.
- [11] Bigourdan, A., Munsch, F., Coupé, P., Guttmann, C.R.G., Sagnier, S., Renou, P., *et al.* (2016) Early Fiber Number Ratio Is a Surrogate of Corticospinal Tract Integrity and Predicts Motor Recovery after Stroke. *Stroke*, **47**, 1053-1059. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.115.011576>
- [12] Shaheen, H.A., Sayed, S.S., Magdy, M.M., Saad, M.A., Magdy, A.M. and Daker, L.I. (2022) Prediction of Motor Recovery after Ischemic Stroke: Clinical and Diffusion Tensor Imaging Study. *Journal of Clinical Neuroscience*, **96**, 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2021.12.029>
- [13] Xue, Q., Yang, X., Teng, G. and Hu, S. (2021) Chronic Pontine Strokes: Diffusion Tensor Imaging of Corticospinal Tract Indicates the Prognosis in Terms of Motor Outcome. *Journal of X-Ray Science and Technology: Clinical Applications of Diagnosis and Therapeutics*, **29**, 477-489. <https://doi.org/10.3233/xst-200817>