

DTT 技术在皮质脊髓束成像特征中的应用

赵谦谦¹ 李志军^{2,3*}

1 内蒙古医科大学基础医学院研究生, 内蒙古呼和浩特, 010110;

2 内蒙古医科大学基础医学院解剖学教研室, 内蒙古呼和浩特, 010110;

3 内蒙古医科大学基础医学院数字医学中心, 内蒙古呼和浩特, 010059;

摘要: 目的: 应用 DTI 及 DTT 技术追踪皮质脊髓束 (CST), 结合解剖学理论研究 CST 的走行轨迹和成像特征。方法 收集 2019-2024 年三甲医院符合纳入标准的 MRI 资料 257 例 (男 131, 女 126), 按年龄分为 4 组, 使用 Philips View Forum 工作站后处理原始数据, 显示 CST 分析总结其走行轨迹及三维成像特征。结果: DTT 图示 76.26% CST 起于中央前、后回和额上回区域, 下行经半卵圆中心、同侧内囊膝部及后肢前部、中脑大脑脚底中 3/5 的外侧部、脑桥基底部、至延髓锥体; 新发现 23.74% CST 与现有理论走行不同, 称之为“上位越边走行现象”, 在各年龄组中均有发现, LSD 法分析该走行现象检出率在不同年龄组间表现出统计学差异 ($P < 0.05$), 提示上位越边走行检出情况可能与 CST 发育相关。结论: DTT 图像能清晰显示 CST 走行轨迹和空间构象, 新发现 CST 存在“上位越边走行”, 为法医临床鉴定提供活体影像学依据。

关键词: 扩散张量成像; 扩散张量纤维束成像; 皮质脊髓束; 法医临床

DOI: 10.69979/3029-2808.25.07.011

前言

颅脑损伤是法医临床案件中常见的损伤之一^[1], 可导致中枢神经系统多种损害, 如颅内血肿、TBI 及 DAI 等^[2], 目前对神经损伤的鉴定尚无客观指标, 且传统影像学检查对白质神经纤维束损伤程度和外伤所致精神障碍的诊断价值有限, 寻找一种鉴别神经损伤的客观可视化方法显得尤为重要。扩散张量成像 (Diffusion Tensor Imaging, DTI) 技术以及在 DTI 基础上发展出扩散张量纤维束成像 (Diffusion Tensor Tractography, DTT), 可对中枢神经系统进行非侵入性的精细成像, 其利用髓鞘内水分子自由热运动的各向异性原理追踪白质纤维束进行成像, 清晰显示白质纤维的排列、走行、起止位置等空间立体结构, 主要用于中枢神经系统白质纤维束的观察、脑发育和脑功能研究^[3]。皮质脊髓束 (Corticospinal Tract, CST) 为最大的下行运动纤维传导束, 为最重要的运动传导通路之一^[4], 由于行程较长易受到剪切应力发生损伤, 故本研究选择 CST 来探索 DTI 和 DTT 在法医学领域应用的可行性。回顾性收集 2019-2024 年三甲医院门诊检查 MRI 扫描资料, 利用该技术对 CST 的走行轨迹和三维成像特征进行分类总结, 为神经损伤的法医学鉴定白质纤维束微形态学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

收集 2019-2024 年 11 月多家三甲医院门诊头颅 MRI 扫描资料。纳入标准: 同时进行过颅脑常规 MRI 和 DTI 序列扫描; 无明确神经系统检查阳性体征; 无神经系统疾病、外伤及手术史; 无严重全身性疾病及酒精和药物依赖史。符合上述标准的头颅 MRI 资料 257 例 (男 131 例、女 126 例) 作为研究对象, 平均 (31.6 ± 27.8) 岁。按年龄将 MRI 资料分为 4 组: 第 1 组 (< 18 岁) 16 例、第 2 组 (18-35 岁) 20 例、第 3 组 (36-59 岁) 57 例、第 4 组 (≥ 60 岁) 64 例 (表 1)。

表 1 研究对象分组情况

分组	n	男/女	平均年龄
第 1 组	116	64/52	5.6 ± 5.3
第 2 组	20	10/10	26.0 ± 5.7
第 3 组	57	28/29	49.2 ± 7.3
第 4 组	64	29/35	70.1 ± 7.4
合计	257	131/126	31.6 ± 27.8

1.2 扫描设备和技术参数

扫描前用海绵垫固定受试者头部防止头动影响图像质量, 身下铺设软垫, 以棉球塞住双侧外耳道以减少噪音的影响, 扫描时要求受试者保持清醒。使用 Philips Achieva 3.0T MRI 扫描仪, 先行常规 MR 扫描, 后行 DTI 扫描, 采用自旋回波平面成像 (Spin Echo-Echo Planar Imaging, SE-EPI) 序列, 轴状位扫描, $TR=610$

0ms, TE=87ms, 层厚=2.5mm, 间隔为 0, 共 50 层, 层内分辨率=128×128, FOV=256×256mm, 64 个扩散梯度方向, b=1000s/mm², 8 个 b=0 图像, NEX=2。

1.3 图像后处理

将扫描获得的 DTI 颅脑轴位原始数据导入到 Philips View Forum (Extended MR Work Space 2.6.3.3) 后处理工作站, 先进行平滑去噪等处理, DTT 追踪阈值设为 FA<0.25。由两名 MRI 副主任医师统一确定 CST 在脑桥的小脑中脚层面选取感兴趣区 (Regions of Interest, ROI), 尽量勾画在同一层面, 双侧尽量选取对称位置, 用 FACT 算法对 CST 进行追踪。结合 DTT 图像, 对 CST 的行走轨迹进行统计, 总结不同分类。

1.4 统计学分析

应用 SPSS 27.0 软件行统计学分析, 用均数±标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 采用单因素方差分析, 如有差异进一步用 LSD 法进行组间两两比较。P<0.05 认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 CST 成像行走轨迹

76.26%DTT 图像所示 CST 起于中央前、后回和额上回区域锥体细胞, 经半卵圆中心, 在同侧内囊膝部及后肢前部汇集束, 经中脑大脑脚底中 3/5 的外侧部、脑桥基底部至延髓锥体, 而未观察到理论中起于中央旁小叶前半部的锥体细胞 (图 1); 新发现存在 23.74%CST 与现有理论行走不同, 其部分纤维在胼胝体层面穿越大脑中线到达对侧, 沿对侧 CST 一起下行, 本研究称之为“上位越边行走现象”

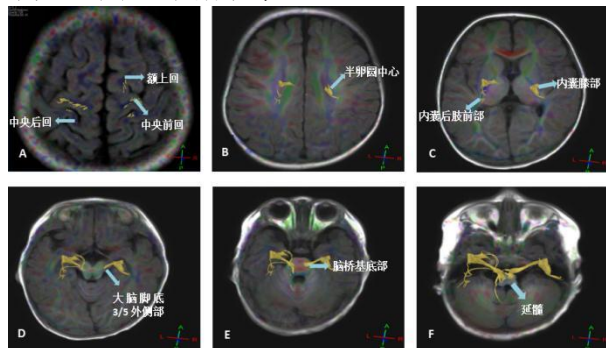


图 1 CST 行走位置图

2.2 CST “上位越边行走” 成像特征

CST “上位越边行走” 检出率高达 23.74%: 其中左

向右越边 (图 2B) 为 7.78% (20/257), 右向左越边 (图 2C) 占 7.39% (19/257), 而双侧交叉越边 (图 2D) 占 8.56% (22/257), 且在不同年龄组中均存在纤维上位越边走行的情况 (表 2)。比较各年龄组间越边走行检出率 P<0.05; 进一步采用 LSD 法组间多重比较 (表 3): 第 1 组与第 2 组、第 2 组与第 3 组、第 2 组与第 4 组差异均有统计学意义 (P<0.05), 提示上位越边走行可能与 CST 发育程度有关, CST 发育成熟后更多见上位越边走行, 而随着年龄增长 CST 呈现增龄性退行性变, 该行走情况随之减少。

表 2 各年龄组中 CST 出现不同类型越边走行检出率 (%)

年龄组	n	左→右	右→左	双侧交叉越边
第 1 组	116	3.45% (4/116)	6.90% (8/116)	2.59% (3/116)
第 2 组	20	15.00% (3/20)	15.00% (3/20)	25.00% (5/20)
第 3 组	57	10.53% (6/57)	8.77% (5/57)	12.28% (7/57)
第 4 组	64	10.94% (7/64)	4.69% (3/64)	10.94% (7/62)
合计	257	7.78% (20/257)	7.39% (19/257)	8.56% (22/257)

表 3 各年龄组 CST 越边走行检出率比较

年龄组	越边走行检出率
第 1 组	0.043±0.023
第 2 组	0.183±0.058a
第 3 组	0.105±0.018b
第 4 组	0.089±0.036b
F	7.492
P	0.010

注: 与第 1 组比较, aP<0.05, 与第 2 组比较, bP<0.05。

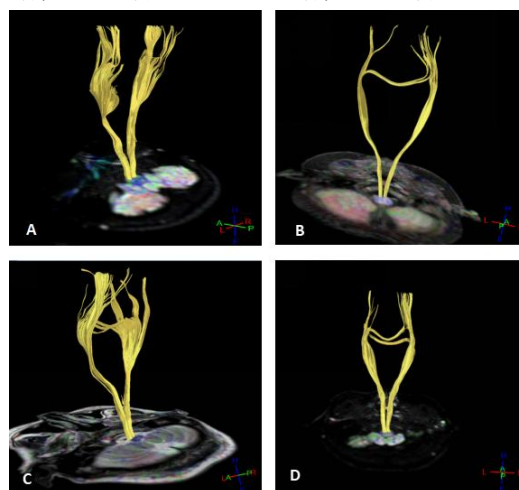


图 2 CST 不同类型越边走行的 DTT 图 (图 2A 现行理论 CST 行走)

3 讨论

法医临床中涉及到神经白质纤维的损伤是目前的

鉴定难点,其中 DAI 常累及白质纤维束走行区域,且我国现行《人体损伤程度鉴定标准》对 DAI 尚无明确条款规定。研究表明常规 MRI 检查显示 DAI 患者的微出血病灶多见于 CS^T^[5],Jang 等^[6]针对 DAI 住院患者的影像学分析发现脑桥是 CST 损伤的高发区域。CST 作为脑中最重要的运动传导通路之一,支配躯干、四肢骨骼肌运动。现行解剖学^[7]描述了 CST 走行为我们利用 DTI、DTT 成像 CST 提供了参照。该技术是目前唯一能在活体非侵入性直观显示脑白质纤维束的影像方法,已有文献报道 DTI 应用于幕上大脑白质的研究^[8],以及对成人和大鼠脑干区域神经纤维束的研究^[9-10]。

本研究应用 DTI 和 DTT 技术对符合纳入标准的全年龄段健康人群在脑桥的小脑中脚层面分别勾画 ROI 追踪成像左、右 CST,观察到 CST 走行轨迹与教材中描述存在不一致的情况:CST 绝大部分起于中央前回,有少量纤维起于中央后回和额上回,而现行理论提到的中央旁小叶前半部未曾追踪到 CST 的锥体细胞;CST 下行到内囊层面不只经过内囊后肢前部,也经过内囊膝部;新观察到部分样本群体的 CST 与传统解剖学描述的走行轨迹不一致,其放射冠部分纤维在胼胝体部层面越过大脑中线抵达对侧,并与对侧 CST 合并一起继续下行,称为上位越边走行现象,在所有正常研究对象中占 23.74%,单边越边发生概率约 15.00%,双侧交叉越边约为单边越边的 50%,表明三类越边现象出现较均衡;上位越边现象检出率在不同年龄组间表现出统计学差异,考虑可能与 CST 发育程度相关,在 CST 发育成熟后出现上位交叉越边的概率增高,而随着年龄增长白质纤维出现老化,上位越边现象逐渐减少。

综上所述,本研究通过 DTI 和 DTT 技术成像 CST,结合解剖学理论总结了 CST 的走行轨迹及空间构象,为法医学涉及白质纤维束疾病和损伤鉴定提供了新思路和新辅助检查技术手段,该技术未来有望应用于法医临床鉴定中颅脑损伤导致运动功能受损的案件。本研究结果可为法医临床鉴定中 CST 有关的案例提供形态学依据,应考虑到上位越边交叉现象,以推测被鉴定人的查体表现是否属实,尽可能提供公平真实的检验结果,避免出现诈伤、诈病的情形。但研究仍存在不足,上位越边交叉现象中交叉到对侧的纤维对 CST 功能有什么影响尚不明确,后续研究需结合 fMRI 分析该现象的具体功能。

参考文献

- [1] 赵峰. 道路交通事故致颅脑损伤的法医学鉴定回顾分析[J]. 医学与法学, 2018, 10 (03): 65-67
- [2] 张运阁, 刘松岩主编. 神经电生理在法医学鉴定中的应用[M]. 苏州: 苏州大学出版社. 2022: 163-169.
- [3] 郝清, 丁思萱, 李冬雪, 等. 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 (01): 3-8+20.
- [4] Koga S, Roemer FS, Kasanuki K, et al. Cerebrovascular pathology presenting as corticobasal syndrome: An autopsy case series of "vascular CBS" [J]. Parkinsonism and Related Disorders, 2019, 68: 79-84.
- [5] 顾磊. 弥漫性轴索损伤患者早期磁共振弥散张量成像与恢复期认知障碍的相关性研究[D]. 蚌埠医学院, 2011.
- [6] Jang S H, Kim S H, Kim O L, et al. Corticospinal tract injury in patients with diffuse axonal injury: A diffusion tensor imaging study[J]. NeuroRehabilitation, 2009, 25 (4): 229 - 233.
- [7] 崔慧先, 刘学政. 系统解剖学[M] (第 10 版) 北京: 人民卫生出版社, 2024: 384-387.
- [8] Zhou ZJ, Deng J, Luo XD, et al. Sex differences in functional and structural alterations of hippocampus region in chronic pain: a DTI and resting-state fMRI study[J]. Frontiers in Neuroscience, 2024, 18: 1428666.
- [9] 郭翠萍. 脑干皮质脊髓束及内侧丘系的 DTI 及 DTT 研究及临床应用[D]. 南方医科大学, 2012.
- [10] Shi M, Chen H, Ci X, et al. Assessment of corticospinal tract damage and cytokines response in early and late stages of acute unilateral brainstem infarction patients[J]. Frontiers in Immunology, 2024, 15: 1504626.

作者简介: 赵谦谦 (1997—), 女, 汉族, 内蒙古呼和浩特, 内蒙古医科大学基础医学院研究生, 在读硕士, 法医临床