

论 著

应用磁共振弥散张量成像对运动纤维束可重复性研究*

赵海¹ 王军^{2,*} 付泳淳¹
王铁刚² 邵滢如² 于志刚²
梁彤¹

1.大庆市中医医院磁共振科

2.大庆市中医医院康复科

(黑龙江 大庆 163000)

【摘要】目的 应用磁共振弥散张量成像(DTI)对神经纤维束定量可重复性进行研究。**方法** 对28名志愿者进行两次磁共振平扫及弥散张量成像,分别为第一次扫描及2周后扫描。应用DSI-studio软件,分别对皮质脊髓束、网状脊髓束,以及胼胝体体部、小脑脚上束四组纤维束的平均扩散率(MD)、各向异性分数(FA)、轴向扩散率(AD)和径向扩散率(RD)进行测量,对同一纤维束两组相关数据进行可重复研究。统计学方法应用组内相关系数(ICC)进行分析。**结果** 四组运动相关纤维束,FA、MD、AD、RD组间相关系数ICC为0.942-0.994。**结论** 同组纤维束两次测量可重复性较好,方法可靠。

【关键词】 磁共振成像; 弥散张量成像;
运动纤维束; 可重复性

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 黑龙江省中医药管理局
科研项目(ZHY2022-033)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.12.012

Application of MR-DTI to Study the Repeatability of Motor Fiber Bundles*

ZHAO Hai¹, WANG Jun^{2,*}, FU Yong-chun¹, WANG Tie-gang², SHAO Ying-ru², YU Zhi-gang², LIANG Tong¹.

1.Department of MRI, Daqing Hospital of TCM, Daqing 163000, Heilongjiang Province, China

2.Department of Rehabilitation, Daqing Hospital of TCM, Daqing 163000, Heilongjiang Province, China

ABSTRACT

Objective To study the quantitative reproducibility of the pyramidal tract using DTI. **Methods** Two MRI plain scans and DTI were performed on 28 volunteers, one for the first scan and the other two weeks later. Using DSI-studio software, Measure the MD, FA, AD, and RD of four groups of fiber tracts: corticospinal tract, reticular spinal tract, corpus callosum, and superior cerebellar peduncle. Conduct replicable studies on the relevant data of two groups of the same fiber bundle. Statistical methods (ICC) were applied for analysis. **Results** Four groups of motor related fiber bundles, the correlation coefficient (ICC) between FA, MD, AD, and RD groups is 0.942-0.994. **Conclusion** The repeatability of two measurements of the same group of fiber bundles is good, and the method is reliable.

Keywords: MRI; DTI; Fiber Bundle; Repeatability

弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)对白质纤维的走行有很好的成像效果^[1], 可了解病变造成的白质纤维束受压移位、浸润与破坏, 为病变的诊断与鉴别诊断提供更多信息, 使研究者得以了解活体的神经纤维走行, 在临床上有很大的价值^[2]。然而其复杂的流程, 包括对人工伪影的了解和避免、图像采集参数定义、神经解剖学复杂性等。通过DTI分析, 可以推断出每个体素的分子扩散速率如: 轴向弥散系数(axial diffusivity, AD), 径向弥散系数(radial diffusivity, RD)各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、平均扩散率(mean diffusivity, MD)等^[3]。本研究想通过先后两次, 间隔2周时间, 对志愿者进行颅脑运动神经纤维束成像参数分析, 观察两次参数一致性, 以推断本研究方法的可重复性, 对进一步用此方法评估经颅针刺刺激方法的疗效。

1 资料与方法

1.1 临床资料 依据课题需求, 招募健康志愿者28名, 其中男8名; 女20名, 年龄为23-60岁。排除标准: 颅脑外伤、脑部器质性病变、精神类疾病史, 近期服用过精神类药物, 两次检查间其他治疗等。

1.2 检查方法 对28名志愿者采用同一台Siemens Megnetom Amira 超导15.T磁共振, 自动定位平扫成像(T1-flair,T2WI,T2-Flair,DWI/adc,b值为0及1000/mm², DTI序列: ep2d-diff-mddw, 32方向采集。线圈: 头颈联合18通道相控阵一体化线圈。DTI扫描参数: TR:3500ms、TE:113.0ms; FoV read: 230mm, slices20, 4次平均; DTI扫描采用等中心定位ISO模式, 选中ISO模式之后序列自动激活“畸形矫正”。2周后, 采用同设备、同参数进行再次检查。所有受试者均获得书面知情同意。

1.3 数据测量 对入组者DTI扫描原始图像结合T₁WI结构像, 应用DSI-Studio白质纤维束追踪软件工具, 绘制大脑连接图, 提取神经纤维束信息, 包括双侧轴向弥散系数(AD), 径向弥散系数(RD)各向异性分数(FA)、平均扩散率(MD)等, 将数据导入Excel表格。

1.4 统计分析 对28名志愿者的运动相关纤维束AD、RD、FA、MD四组数据进行组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)分析, 分析模型采用双向随机效应, 一致性类型进行。ICC等于个体方差与总方差之比, 常用于检测具有确定相关关系的个体间某种定量属性的相似程度, 也可用于评价不同方法或测试人员对同一定量测量结果的重复性或一致性。其值介于0~1之间。ICC值越接近于1, 则一致性越好。一般来说, ICC<0.4表示一致性差, ICC>0.75表示一致性好。

2 结 果

28例志愿者皮质脊髓束(corticospinal_tract, CT)、网状脊髓束(reticulospinal Tract, RT), 以及胼胝体体部(corpus_callosum_body, CCB)、小脑脚上束(superior cerebellar peduncle, SCP)四组纤维束的MD、FA、AD、RD单个测量ICC值如表1-6。

表1 左侧皮质脊髓束FA、MD、AD、RD组间对比

CT_L-fa-1	CT_L-md-1	CT_L-ad-1	CT_L-rd-1
CT_L-fa-2	CT_L-md-2	CT_L-ad-2	CT_L-rd-2
0.978	0.985	0.990	0.959

表2 右侧皮质脊髓束FA、MD、AD、RD组间对比

CT_R-fa-1	CT_R-md-1	CT_R-ad-1	CT_R-rd-1
CT_R-fa-2	CT_R-md-2	CT_R-ad-2	CT_R-rd-2
0.987	0.991	0.993	0.979

【第一作者】赵海, 男, 主任医师, 主要研究方向: 医学影像。E-mail: 54238262@qq.com

【通讯作者】王军, 男, 主任医师, 主要研究方向: 针灸。E-mail: sgzr2008@126.com

表3 左侧网状脊髓束FA、MD、AD、RD组间对比

RT_L-fa-1	RT_L-md-1	RT_L-ad-1	RT_L-rd-1
RT_L-fa-2	RT_L-md-2	RT_L-ad-2	RT_L-rd-2
0.969	0.976	0.994	0.942

表5 胼胝体部FA、MD、AD、RD组间对比

CCB-fa-1	CCB-md-1	CCB-ad-1	CCB-rd-1
CCB-fa-2	CCB-md-2	CCB-ad-2	CCB-rd-2
0.973	0.986	0.993	0.970

表4 右侧网状脊髓束FA、MD、AD、RD组间对比

RT_R-fa-1	RT_R-md-1	RT_R-ad-1	RT_R-rd-1
RT_R-fa-2	RT_R-md-2	RT_R-ad-2	RT_R-rd-2
0.980	0.969	0.986	0.939

表6 小脑脚上束FA、MD、AD、RD组间对比

SCP-fa-1	SCP-md-1	SCP-ad-1	SCP-rd-1
SCP-fa-2	SCP-md-2	SCP-ad-2	SCP-rd-2
0.981	0.975	0.989	0.956

3 讨 论

对参组志愿者采用同一台磁共振，计算机自动定位模式Auto Alisn，确保前后两次采集的层面一致，避免人为定位造成的误差，有助于对比评估。另外，扫描参数一致，也确保数据的度量都是高度可重复的。再就是弥散张量成像DTI序列：ep2d-diff-mddw，32方向采集，由于DTI施加的扩散运动敏感梯度方向不同，所以DTI的纤维束分辨率不同。方向数越多，则DTI方向分辨率越高^[4]，则进行纤维束追踪的结果越准确，但是扫描时间越长；反之亦然。本研究采用32方向，已经达到高级别，确保神经纤维束提取信息完整。

DSI Studio是一款开源白质纤维束追踪软件工具，可绘制大脑连接图，可扩散张量成像任意提取神经纤维束信息，包括AD、RD、FA、MD等。因为是软件自动提取神经纤维束各项数值，避免人为划定兴趣区造成的误差。

确定研究方法是否可靠，所有我们选择4组与运动相关的纤维束，皮质脊髓束、网状脊髓束、胼胝体部束、小脑脚上束。皮质脊髓束是人类脊髓中最大的下行神经纤维束。其神经元在大脑皮质的中央前回运动区，其纤维在同侧内囊后脚汇集成束，下行至延髓形成锥体，在锥体下端大部分交叉至对侧，并直接或间接止于前角运动神经元。皮质脊髓束支配全身随意运动，和运动神经元前角构成传导通路，共同发挥作用。在皮质脊髓束走行区，不同疾病均可导致皮质脊髓束的破坏、移位、中断等，均表现为AD、RD、FA、MD的数值改变。网状脊髓束由网状结构内的下行通路接受来自双侧大脑运动前区、补充运动区的投射，该通路姿势控制及灵活性运动密切相关。胼胝体部束属于交叉纤维，与步态异常相关。小脑上束脚连接中脑，主要包含传出纤维，只有少数的传入纤维，交叉后形成齿状红核束，主要兴奋屈肌运动神经元，同时抑制伸肌运动神经元，与步态障碍有关。

弥散张量成像(DTI)脑神经纤维束成像，对活体脑神经连接提供了可视化及量化的依据，逐步成为临床治疗效果的评估依据^[5]。然而，为了更能体现DTI真实的反应脑神经纤维束的弥散信息，我们必须考虑成像因素及测量因素对结果造成的影响，对DTI结果影响最大的扫描参数一个是弥散方向，本研究两次均选择32方向，即保证图像及数据准确，又兼顾采集时间，确保前后两次数值准确性和可重复性。

业界有对脑神经弥散张量磁共振成像的可重复性分析的研究^[6]，本研究主要是围绕运动神经纤维开展，也是“经颅针刺刺激疗法对脑卒中下肢运动功能障碍康复多模态磁共振研究”的前

期研究，主要是评估本研究影像检查方法的可靠性，减少因检查时间不同等其他因素对结果影响，28例志愿者，间隔2周进行评估，结果均匀很好的可重复性。故采用的磁共振扫描方法、扫描参数、DTI纤维束的数据测量、软件选择等是可靠的，具有可重复性，对今后“经颅针刺刺激对运动功能障碍的疗效评估”提供一个可靠的评估方式。

此次研究存在以下不足：在许多DTI研究中ADC都是重要的量化指标，脑功能成像领域为了保障其成像结果的可靠性^[7]，就需要普及MRI设备的质量控制工作^[8-9]国内在医学影像标准化、MRI设备质量控制领域基本上在追随国外的做法，但是又有相当大的差距^[10]。目前的商业用水模基于多参数水模的磁共振成像质控方法^[11]，本研究采用相关质控方案，但是量化指标做的不完善。

参考文献

[1]P. J. Basser, J. Mattiello, D. LeBihan. MRdiffusion tensor spectroscopy and imaging [J]Biophys J, 1994, 66 (1): 259-267.

[2]S. Mori, K. Oishi, H. Jiang, et al. Stereotaxic white matter atlas based on diffusion tensor imaging in an ICBM template[J]. Neuroimage, 2008.

[3]陈嘉豪, 尤晓光. 磁共振弥散张量成像技术在临床中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (8): 173-175.

[4]李懋. 颅脑DTI规范化扫描方案[G/OL]. 懋氏百科全书, 2021. 09. 21.

[5]万正国. DTI在脑膜瘤, 胶质瘤及转移瘤患者诊断及手术指导中的应用研究[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (1): 4.

[6]吕艳秋, 郑丹丹, 胡迪, 等. 正常成人脑部结构、静息态功能和弥散张量磁共振成像的可重复性分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2022. 192-194.

[7]Wang L. Clinical study on differential diagnosis of brain abscess and brain tumor necrosis by diffusion-weighted magnetic resonance imaging[J]. J Imaging Res Med Appl, 2022, 6 (5): 77-79.

[8]Keenank E, Gimbutasz, Dienstfrey, et al. Multi-site, multi-platform comparison of MRI-T₁ measurement using the system. phantom[J/OL]. PLoS, 2021, 16 (6): 0252966.

[9]储呈晨, 李斌. 基于非齐次泊松过程的磁共振成像设备可靠性分析[J]. 中国医疗器械杂志, 2020, 4 (6): 558-561, 564.

[10]刘支源. 医学计量在磁共振图像质量管理中的应用与展望[J]. 中国医疗设备, 2021, 36 (12): 146-148, 153.

[11]郝飞, 和清源, 崔哲, 等. 基于多参数水模的磁共振成像质控方法, 磁共振成像[J]. 2023, 14 (2): 138-144.

(收稿日期: 2024-06-11)
(校对编辑: 韩敏求)