

中国生物医学工程学会团体标准

《人脑扩散张量磁共振成像（DTI）的图像采集及后处理流程》团体标准

（征求意见稿）编制说明

一、工作简况

1、任务来源

根据中国生物医学工程学会 2023 年团体标准制修订项目工作计划，北京师范大学等负责起草团体标准《人脑扩散张量磁共振成像（DTI）的图像采集及后处理流程》（项目编号为：BZW/PI-147）。

2、主要工作过程

2023 年 10 月，北京师范大学向中国生物医学工程学会提出该团体标准的立项申请，2023 年 11 月确认正式立项。由北京师范大学、中日友好医院、北京邮电大学、天津市第一中心医院、上海承蓝数据科技有限公司组成的标准起草工作组接到任务后，调查收集国内外相关标准和资料，确定本标准制订的范围和原则。起草小组在前期开展工作的基础上，2023 年 12 月至 2025 年 12 月多次进行标准研讨，于 2026 年 1 月完成了标准草稿。为了推进标准验证工作，于 2026 年 2 月至 2026 年 6 月，多次进行线上标准技术研讨，并于 2026 年 6 月完成标准验证，现形成标准征求意见稿向社会公开征求意见。

二、标准编制原则及有关内容的说明

1.概述

扩散张量成像（Diffusion Tensor Imaging, DTI）是一种基于磁共振扩散加权成像数据估计水分子扩散方向性和扩散程度的成像方法，可用于评价脑白质微结构特征和白质纤维连接情况。DTI 能够生成分数各向异性、平均扩散率、轴向扩散率和径向扩散率等定量指标，并可进一步用于白质纤维追踪和白质结构连接组构建。

DTI 已广泛应用于脑白质发育、脑损伤、脑血管病、神经退行性疾病及其他神经系统疾病相关研究和临床评估。由于 DTI 数据质量受扫描序列、b 值和扩散梯度方向数目、相位编码方向、头动、EPI 几何畸变、涡流畸变、扩散方向信息及后处理流程等因素影响，不规范的采集和处理可能导致扩散指标、纤维追踪结果和白质结构连接组结果产生偏差，影响数据的可比性、可重复性和结果解释。因此，本标准的制定对于规范人脑 DTI 图像采集、预处理、后处理及质量控制流程，提高 DTI 数据质量、处理流程一致性、结果可复核性和多中心数据可比性具有重要意义。

2.标准内容的相关说明

2.1 标准规定了人脑扩散张量磁共振成像的术语和定义、图像采集及后处理流程。

人脑 DTI 图像采集及后处理主要包括图像采集前准备、图像采集、图像预处理、图像后处理和后处理结果质量控制。图像采集前准备主要包括 DTI 序列及扫描参数设置、磁共振安全筛查、金属物品移除、受检者扫描告知和头部固定等；图像采集主要包括扫描前参数核查、受检者体位安置、扫描过程监控和采集图像质量控制；图像预处理主要包括图像格式转换、头动校正、EPI 几何畸变校正和涡流校正；图像后处理主要包括扩散指标计算、纤维束三维重建、白质结构连接组构建及后处理结果质量控制与记录。

2.2 本标准的制定参考了以下文件和资料：

Bijsterbosch J, Harrison S J, Jbabdi S, et al. Challenges and future directions for representations of functional brain organization. *Nature Neuroscience*, 2020, 23(12): 1484-1495.

Fan L, Li H, Zhuo J, et al. The human Brainnetome atlas: a new brain atlas based on connectional architecture. *Cerebral Cortex*, 2016, 26(8): 3508-3526.

Shamir I, Assaf Y. Tutorial: a guide to diffusion MRI and structural connectomics. *Nature Protocols*, 2015, 20: 317-335.

Cetin-Karayumak S, Zhang F, Zurrin R, et al. Harmonized diffusion MRI data and white matter measures from the Adolescent Brain Cognitive Development Study. *Scientific Data*, 2024, 11: 249.

Glasser M F, Sotiropoulos S N, et al. The minimal preprocessing pipelines for the Human Connectome Project. *NeuroImage*, 2013, 80: 105-124.

Alfaro-Almagro F, Jenkinson M. Image processing and quality control for the first 10,000 brain imaging datasets from UK Biobank. *NeuroImage*, 2018, 166: 400-424.

Yeh C H, Jones D K, Liang X, Descoteaux M, Connelly A. Mapping structural connectivity using diffusion MRI: challenges and opportunities. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2021, 53: 1666-1682.

Cieslak M, Cook P A, He X, et al. QSIprep: an integrative platform for preprocessing and reconstructing diffusion MRI data. *Nature Methods*, 2021, 18: 775-778.

Tahedl M, Tournier J D, Smith R E. Structural connectome construction using constrained spherical deconvolution in multi-shell diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Nature Protocols*, 2025, 20: 2652-2684.

Cruces R R, Royer J. Micapipe: A pipeline for multimodal neuroimaging and connectome analysis. *NeuroImage*, 2022, 263: 119612.

Huang W, Dong X, Zhao T, Kucikova L, Fu A, Shu N. DCP: A pipeline toolbox for diffusion connectome. *Human Brain Mapping*, 2024, 45(3): e26626.

Mansour L S, Di Biase M A, Smith R E, Zalesky A, Seguin C. Connectomes for 40,000 UK Biobank participants: A multi-modal, multi-scale brain network resource. *NeuroImage*, 2023, 283: 120407.

2.3 标准术语

根据本标准的适用范围所定义，3.1~3.14 根据本标准要求理解需要所定义，参考了国内外扩散磁共振成像、结构连接组和神经影像数据处理相关文献及技术资料。

2.4 标准

4.2.1 DTI 序列及参数中规定，DTI 图像采集宜采用扩散加权 EPI 序列，在设备条件允许且需降低 EPI 几何畸变时可采用多次激发 EPI 序列，采集范围应覆盖全脑结构，包括大脑皮层、皮层下结构及小脑。该项目是根据目前脑部 DTI 临床和科研应用中常用的采集方式确定，能够满足脑白质微结构定量分析、白质纤维追踪和白质结构连接组构建的基本需要。

4.2.1 中规定了 TR、TE、空间分辨率、FOV、b 值、扩散梯度方向数目、反转相位编码数据和相位编码方向等推荐参数。考虑到不同制造商设备、线圈配置、梯度性能、成像序列和应用目的存在差异，因此本标准规定参数参考范围及基本要求，具体参数可根据设备性能和临床或科研需求进行适当调整。常规 DTI 采集包括 $b=0 \text{ s/mm}^2$ 和 $b=1000 \text{ s/mm}^2$ 左右的扩散加权图像；如需开展多壳扩散建模、复杂纤维结构分析或高级纤维追踪，可根据研究或临床需求增加更高 b 值和更多扩散方向。

4.2.2 扫描前准备包括磁共振安全筛查、金属物品移除确认、扫描过程告知、受检者体位指导、头部固定、配合程度评估和异常情况记录等。本项目主要考虑受检者安全及头部位置改变、焦虑、配合不足等因素对 DTI 图像质量的影响，保证采集数据满足后续扩散指标计算、纤维追踪和结构连接组构建的要求。

4.3.1 扫描前参数核查规定，正式采集前应核查扫描序列、TR、TE、FOV、空间分辨率、层厚、采集层数、b 值、扩散梯度方向数目、 $b=0$ 图像数量、相位编码方向、反转相位编码方向，以及 DICOM 头文件或扫描记录中后续预处理所需信息。该项目能够在正式采集前发现参数设置、扫描覆盖范围或元数据信息不完整等问题，降低后续预处理失败、张量估计偏差或连接组构建结果不可复核的风险。

4.3.2 扫描过程监控规定，扫描过程应分为预扫描和正式扫描两个阶段进行监控。预扫描阶段主要检查受检者体位、头部位置、扫描覆盖范围及基本图像质量；正式扫描阶段主要监控图像覆盖范围、信号稳定性、运动伪影、磁敏感伪影、信号丢失及硬件相关伪影。该项目能够及时发现定位偏差、覆盖不足、头部位置改变、信号异常、图像缺层及其他影响数据质量的问题，并根据影响程度采取继续采集、暂停采集、重新定位或重新采集等处理措施。

4.3.3 图像质量控制规定，采集完成后应对原始 DTI 数据进行图像完整性、空间覆盖范围、图像清晰度、信号质量、运动伪影、扩散方向覆盖和反转相位编码数据一致性

检查。质量控制可采用目视检查和自动质量控制工具相结合的方式进行，并记录异常类型、异常位置、异常体积或异常切片数量及处理方式。对于图像覆盖范围不足、缺层、文件缺失、头动或伪影影响脑组织边界识别、局部或整体信号缺失影响张量估计或纤维追踪、b 值或扩散方向信息缺失等情况，数据不宜纳入后续分析。该项目能够保证进入预处理和后处理流程的数据具备基本完整性、可分析性和可追溯性。

4.4.1 图像格式转换规定，应将 DICOM 格式图像转换为 NIfTI 格式，并同步生成或保存 b 值文件、扩散梯度方向文件及采集参数信息。该项目考虑到 DTI 后续分析高度依赖 b 值、b-vector、相位编码方向、总读出时间等元数据信息，因此要求检查转换后图像与原始数据的一致性，并记录转换软件名称、版本、转换参数、输出文件及转换检查结果，以保证数据组织和元数据可追溯。

4.4.2~4.4.4 规定了头动校正、EPI 几何畸变校正和涡流校正的基本要求。头动校正应估计各扩散方向图像相对于参考图像的平移和旋转参数，并同步校正扩散梯度方向；具备反转相位编码数据、场图数据或其他可用于畸变估计的数据时，应进行 EPI 几何畸变校正；涡流校正可与头动校正同一流程中完成，并记录软件名称、版本、主要参数和校正质量指标。上述要求参考了 DTI 和扩散 MRI 常用预处理流程，能够降低受检者运动、磁场不均匀和涡流畸变对扩散指标估计、纤维追踪和连接组构建结果的影响。

4.5.1 扩散指标计算规定，应基于预处理后的 DTI 数据进行扩散张量估计，生成 FA、MD、AD、RD 等扩散指标图，并记录软件名称、版本、张量拟合方法及主要参数。该项目根据 DTI 基本原理确定，能够获得脑白质微结构分析常用的定量指标，并通过质量检查发现异常高值、异常低值、非脑组织残留或影响指标解释的空间错位等问题。

4.5.2 纤维束三维重建规定，应基于预处理后的 DTI 数据或扩散模型结果进行白质纤维束三维重建，并明确扩散模型、纤维追踪方法、种子点设置、步长、角度阈值、FA 阈值和纤维长度筛选条件等。该项目考虑到不同采集方案和研究目的可采用确定性追踪或概率性追踪方法，因此规定关键参数和质量检查要求，并要求对纤维追踪结果中穿越脑室、脑外区域或与主要白质纤维解剖走行不一致的情况进行记录和复核，保证纤维追踪结果具有解剖合理性和可复核性。

4.5.3 白质结构连接组构建规定，应基于纤维追踪结果和脑区分区图谱构建白质结构连接组，并记录图谱名称、版本、节点数量、空间模板、配准路径、连接边定义、连接权重、矩阵完整性、矩阵对称性、阈值策略、图论指标和软件参数等。该项目能够保证白质结构连接组构建过程清晰、连接矩阵可检查、网络指标计算可追溯。

4.5.4 后处理结果质量控制与记录规定，应对扩散指标图、纤维追踪结果和白质结构连接组结果进行质量检查，并保存必要的可视化检查图像，包括扩散指标图、纤维束三

维重建图、连接矩阵热图及网络图。该项目能够保证后处理过程和分析结果可检查、可追溯，为后续验证报告编制和多中心结果比较提供依据。

三、主要试验验证

北京师范大学、中日友好医院、上海承蓝数据科技有限公司分别按照本标准的要求和办理流程对相应的 DTI 数据进行临床验证。临床验证计划于 2026 年 6 月 30 日前完成。通过验证确认本标准中相关要求、参数和办理流程是否有效可行，并根据验证结果对标准文本进行修改完善。

通过验证确认本标准中相关要求、参数范围和办理流程是否有效可行，并根据验证结果对标准文本进行修改完善。本标准主要对现有磁共振设备、常用 DTI 采集序列和图像后处理流程进行规范，不涉及新增专用硬件，实施成本主要为人员培训、流程调整、软件参数规范化和质量控制记录。标准实施后可减少因采集和处理不规范造成的重复扫描和重复分析，提高 DTI 数据利用率、多中心研究效率和结果可比性，具有较好的社会效益和间接经济效益。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

未采用或参考国际和国外先进标准。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家/行业标准的关系

本标准为推荐性的团体标准，与有关的现行法律、法规和强制性国家/行业标准无抵触。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

该标准所适用的技术已在科研和临床实践中应用多年，作强制性标准可能会限制技术的发展和 innovation，建议作推荐性团体标准发布。

八、贯彻标准的要求和措施建议

标准发布后视各方反映情况，可以举办培训班来指导标准的实施。

九、废止现行有关标准的建议

无。

十、其他应予说明的事项

无。

标准起草小组

2026 年 7 月 3 日