

中国生物医学工程学会团体标准

《基于 T1 加权磁共振影像的个体化脑网络构建流程与处理规范》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团体标准制修订项目工作计划，北京邮电大学、中日友好医院、北京师范大学、首都医科大学宣武医院、安影科技负责起草团体标准《基于 T1 加权磁共振影像的个体化脑网络构建流程与处理规范》。

2、主要工作过程

本标准由中国生物医学工程学会提出，由中国生物医学工程学会知识产权与标准化工作委员会归口。标准起草单位为北京邮电大学、中日友好医院、北京师范大学、首都医科大学宣武医院、安影科技。主要起草人为刘勇、赵坤、马国林、舒妮、闫少珍、孟刚、张逸鹤等。标准起草工作组接到任务后，围绕结构磁共振影像采集与质量控制、结构协方差网络、个体化脑网络构建、脑网络拓扑分析、脑网络梯度分析以及影像-基因关联分析等内容，调查收集国内外相关标准、技术文件、指南性资料和研究文献，确定本标准制修订的范围和原则。在标准草案形成后，起草组围绕标准名称、适用范围、规范性引用文件、术语和定义、技术流程、质量控制要求、流程图与正文一致性以及计算实例等内容组织研讨，并根据专家意见对标准文本进行了修改完善，形成标准征求意见稿。为推进标准验证工作，多次进行线上线下标准技术研讨。

二、标准编制原则及有关内容的说明 1、概述

大脑脑区的形态学属性往往与其他大脑区域的形态学属性共同变化，这种现象被称为结构协方差，在此基础上构建的网络被定义为结构协方差网络，也称大脑结构共变网络。结构协方差网络的节点通常定义为大脑中的脑区或其他感兴趣区域，网络的边通常定义为两个节点之间形态学指标的相似性。基于结构磁共振影像构建个体化结构脑网络，为刻画个体水平脑结构组织模式、理解脑网络拓扑结构以及探索脑疾病相关异常提供了新的技术路径。

目前，国内外研究基于结构磁共振影像构建个体化脑网络的方法较多，不同研究在图像采集、质量控制、预处理、脑图谱选择、影像特征提取、网络构建、网络稀疏化以及拓扑指标计算等环节存在差异，导致不同研究结果之间的可比性

不足，研究流程和研究结论也较难复现。基于结构磁共振影像构建个体化结构脑网络尚缺少较为统一的流程规范和处理标准。

因此，本标准的制定对于规范基于 T1 加权结构磁共振影像的个体化结构脑网络构建流程，提高研究流程的可复现性、结果的可比性和多中心研究的数据处理一致性具有重要意义。

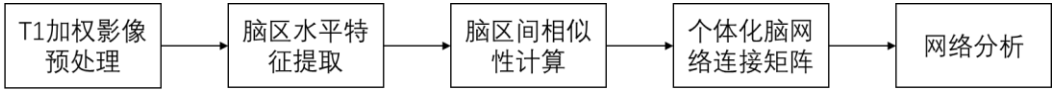
本标准编制遵循科学性、协调性、适用性和可操作性原则。标准内容以神经影像学、结构协方差网络、个体化脑连接组和图论分析相关研究为基础，与医用磁共振成像质量控制和设备通用技术条件等相关文件保持协调，并充分考虑科研和临床转化研究中常用结构磁共振数据处理流程的实际需求。

2、标准内容的相关说明

2.1 标准规定了基于 T1 加权结构磁共振影像构建个体化结构脑网络的术语和定义、要求和计算方法。

个体化结构脑网络构建通常以单个受试者的 T1 加权结构磁共振影像为基础，通过质量控制、去噪、灰度不均匀性校正、空间配准、脑图谱划分和脑区水平特征提取，将原始影像数据转化为脑区层面的定量结构特征；再通过特征归一化和脑区间相似性计算构建个体化脑网络连接矩阵，并对连接矩阵进行标准化和后续网络分析。

本标准的核心作用是将上述处理流程规范化，使不同研究单位在开展结构磁共振个体化脑网络研究时能够采用相对一致的流程描述、质量控制要求和分析步骤，减少因处理流程差异造成的结果偏倚。



基于 T1 加权磁共振影像的个体化脑网络构建

2.2 本标准的制定参考了以下文件和资料：

[1] YY/T 0482-2022 医用磁共振成像设备 主要图像质量参数的测定

[2] YY 9706.233-2021 医用电气设备 第 2-33 部分：医疗诊断用磁共振设备的基本安全和本性能专用要求

- [3] WS/T 263-2006 医用磁共振成像（MRI）设备影像质量检测与评价规范 [4]
YY/T 0723-2009 医用电气设备 医学数字影像和通讯（DICOM）-放射治疗对象
- [5] ZHAO K, WANG D, WANG D, et al. Macroscale connectome topographical structure reveals the biomechanisms of brain dysfunction in Alzheimer's disease [J].
Science Advances, 2024, 10(41): eado8837.
- [6] WANG J, HE Y. Toward individualized connectomes of brain morphology [J].
Trends Neurosci, 2024, 47(2): 106-19.
- [7] GORDON E M, CHAUVIN R J, VAN A N, et al. A somato-cognitive action network alternates with effector regions in motor cortex [J]. Nature, 2023, 617(7960): 351-9.
- [8] ZHAO K, CHEN P, WANG D, et al. A Multiform Heterogeneity Framework for Alzheimer's Disease Based on Multimodal Neuroimaging [J]. Biological Psychiatry, 2025, 97(11): 1022-33.
- [9] ZHAO K, DING Y, HAN Y, et al. Independent and reproducible hippocampal radiomic biomarkers for multisite Alzheimer's disease: diagnosis, longitudinal progress and biological basis [J]. Sci Bull (Beijing), 2020, 65(13): 1103-13.
- [10] KELLER A S, PINES A R, SHANMUGAN S, et al. Personalized functional brain network topography is associated with individual differences in youth cognition [J]. Nat Commun, 2023, 14(1): 8411.
- [11] ZHAO K, CHEN P, ALEXANDER-BLOCH A, et al. A neuroimaging biomarker for Individual Brain-Related Abnormalities In Neurodegeneration (IBRAIN): a crosssectional study [J]. EClinicalMedicine, 2023, 65: 102276.
- [12] Hedges E P, Dimitrov M, Zahid U, et al. Reliability of structural MRI measurements: effects of scan session, head tilt, inter-scan interval, acquisition sequence, FreeSurfer version and processing stream[J]. NeuroImage, 2021.
- [13] DWORETSKY A, SEITZMAN B A, ADEYEMO B, et al. Two common and

distinct forms of variation in human functional brain networks [J]. Nat Neurosci, 2024, 27(6): 1187-98.

[14] SUN Y, WANG P, ZHAO K, et al. Structure-function coupling reveals the brain hierarchical structure dysfunction in Alzheimer's disease: A multicenter study [J]. Alzheimers Dement, 2024, 20(9): 6305-15.

[15] JIANG J, ZHAO K, LI W, et al. Multiomics Reveals Biological Mechanisms Linking Macroscale Structural Covariance Network Dysfunction With Neuropsychiatric Symptoms Across the Alzheimer's Disease Continuum [J]. Biol Psychiatry, 2025, 97(11): 1067-78.

[16] SUN L, ZHAO T, LIANG X, et al. Human lifespan changes in the brain's functional connectome [J]. Nat Neurosci, 2025, 28(4): 891-901.

2.3 标准术语

第3章规定的结构磁共振影像、磁共振图像分辨率、配准、感兴趣区域、体素、标准空间、空间变换、脑模板、脑图谱、影像特征、归一化、节点、边、脑网络、图论指标和个体化脑网络等术语，主要根据本标准适用范围和技术内容理解需要进行定义，用于统一标准正文中的核心概念。

2.4 采集规范及脑网络构建流程

4.1 规定了 sMRI 采集要求及质量控制。结构磁共振成像用于获取脑部高分辨率三维解剖结构图像，本标准适用于基于 T1 加权结构磁共振影像构建个体化结构脑网络，因此宜采用 T1 加权三维结构像，如 MPRAGE、SPGR 等。为保证后续图像预处理和脑网络建模质量，标准提出宜优选场强为 1.5T 及以上的磁共振扫描仪，并要求在扫描前固定患者头部、检查金属异物及相关植入物情况，向患者说明扫描过程和注意事项，尽可能减少头动伪影和磁敏感伪影对图像质量的影响。图像质量控制是后续配准、脑区划分、特征提取和网络构建的基础，本标准要求对头动、噪声水平、图像均匀性和整体成像质量进行评估；进行后续预处理前，应保证图像层与层之间无明显错层或模糊，脑组织边界清晰可辨，图像不存在大量不可控噪声或严重伪影，灰度分布无明显异常结构。不符合质量要求的图像应予以

剔除或重新采集，以避免低质量影像对脑区分割、特征提取和网络边权估计造成系统性影响。

4.2 规定了 sMRI 图像预处理流程。4.2.1 规定了去噪要求。sMRI 图像在采集过程中可能受到设备噪声、患者轻微运动和采集环境等因素影响，为提高图像信噪比并尽量保留结构细节，本标准提出可采用非局部均值、小波阈值等去噪方法对图像进行处理。去噪方法的选择应兼顾噪声抑制和结构边界保留，避免过度平滑影响后续脑区形态学特征提取。

4.2.2 规定了灰度不均匀性校正要求。由于线圈性能、磁场偏差等因素可能导致图像灰度场不均匀，影响不同脑区之间的结构特征比较，本标准要求对原始图像进行强度非均匀性校正，提高图像整体灰度一致性。

4.2.3 规定了大脑图像配准和图谱选择。本标准要求将个体空间的 sMRI 图像配准至标准空间，标准空间宜采用 MNI152 空间，配准方法可采用仿射和非线性变换。配准后应检查是否存在明显脑区偏移或结构畸变，以保证后续脑图谱映射和脑区特征提取的准确性。脑图谱决定脑网络的节点定义，直接影响后续脑区特征提取和脑网络构建。本标准要求根据研究目的选择合适脑图谱，建议选择分区数量约 200-300 的脑图谱，如 AAL、Brainnetome 或 Schaefer 图谱。该要求兼顾了脑区划分的空间分辨率、结果可解释性和计算稳定性。

4.2.4 规定了大脑脑区水平特征提取要求。脑区水平结构特征可包括灰质体积、皮层厚度、曲率、沟深度、表面积等宏观形态学特征，也可包括影像组学特征。标准提出特征选择应满足鲁棒性和可复现性要求，以保证不同研究对象和不同数据集之间分析结果的稳定性。

4.2.5 规定了影像特征归一化要求。由于不同影像特征之间存在量纲和数值范围差异，若直接参与相似性计算可能影响网络边权估计，本标准提出应对各特征分别进行归一化处理，宜采用基于个体内脑区分布的 Min-Max 归一化方法，以降低特征量纲差异对脑区间相似性计算的影响。

4.2.6 规定了个体化脑网络构建方法。脑网络通过定量两个脑区之间影像学特征的相似性刻画，计算方法可采用 Pearson 相关、因果关系模型，也可采用 knearest density 算法计算不同区域的 KL 散度，估计两个脑区之间的关系。完

成矩阵计算后进行 Fisher z 变换，实现数据标准化。所得网络应能够反映不同脑区之间的结构关系，可作为后续网络分析的基础。

2.5 脑网络分析流程

4.3 规定了脑网络分析流程。个体化脑网络通常以脑区之间的连接矩阵表示，初始矩阵一般为全连接矩阵。为去除弱连接或噪声连接，本标准规定在进行网络分析前应对网络进行适当预处理，可采用阈值稀疏化或离散度稀疏化方法；离散度稀疏化时，标准提出连接密度范围为 0.15–0.25。稀疏化后应检查网络是否保持连通或具有主要连通分量，是否存在大量孤立节点，以及稀疏化是否导致网络结构过度简化或失真。

4.3.2 规定了脑网络可视化要求。网络可视化用于直观呈现脑区之间的连接模式，并辅助检查网络构建的合理性。标准提出可采用径向连接图或大脑连接图显示网络连接关系，用于观察全脑整体连接模式、左右半球连接对称性和连接空间分布情况。

4.3.3 规定了脑网络拓扑属性计算要求。拓扑属性通常分为节点水平指标和全局水平指标两类。节点水平指标包括度或强度、节点效率、介数中心性等，用于描述单个脑区在网络中的角色或重要性；全局水平指标包括聚类系数、特征路径长度、全局效率、局部效率、小世界指数、模块度等，用于描述整体网络结构特征。为保证结果可比性，计算拓扑属性时应保持阈值一致或进行多阈值评估，并按权重网络和二值网络分别采用相应指标计算方法。

4.3.4 规定了脑网络梯度计算要求。脑网络梯度计算以标准化构建的脑网络连接矩阵为输入，采用扩散映射等非线性降维方法对网络整体拓扑结构进行表征，提取反映脑网络层级组织特征的主梯度。该指标能够刻画脑区由低级感觉运动区域向高级跨模态关联区域的连续变化轴线，反映脑网络在整合与分离维度上的宏观拓扑结构。梯度计算过程中应统一脑区划分模板、相似性度量方式和参数设置，并对结果进行方向一致性校正，以保证不同个体或不同数据集之间的可比性。

4.3.5 规定了网络梯度与基因和生物通路关联分析规范。在完成网络梯度计算后，可基于公开人脑基因表达数据库，将区域尺度基因表达谱映射至与脑网络一致的脑区空间，并通过偏最小二乘回归评估脑网络梯度空间分布与区域基因表达模式之间的对应关系。随后可依据基因权重对相关基因排序，并对排名靠前的基

因集合开展功能富集分析，识别与网络梯度显著相关的生物学过程和信号通路。该内容有助于从分子生物学层面对宏观脑网络组织模式进行解释。

4.4 规定了个体化脑网络计算实例。标准通过基于结构磁共振成像数据的实例，根据标准流程构建脑区间结构相似性网络，并进一步分析宏观网络拓扑特征与基因表达模式之间的空间关联关系。该实例用于说明本标准流程的适用性和结果的生物学可解释性。

2.6 修订内容说明

根据起草材料，本文件为对 T/CSBME 047—2022 相关内容的修订完善。本次修订重点围绕基于 T1 加权结构磁共振影像构建个体化结构脑网络的处理流程，进一步明确了图像质量控制、去噪、灰度不均匀性校正、空间配准、脑图谱选择、脑区水平特征提取、特征归一化、网络构建、网络稀疏化、拓扑属性计算、脑网络梯度计算以及影像-基因关联分析等内容，使标准的技术路线更加完整，流程要求更加清晰，可复现性和可操作性进一步提高。

三、主要试验验证。

本标准属于影像数据处理和脑网络构建流程类标准，不涉及具体医疗器械产品性能指标，也不以单一物理性能试验作为主要验证方式。标准验证主要围绕流程完整性、方法可执行性、参数可记录性、结果可解释性和跨研究可比性开展。

北京邮电大学、中日友好医院、北京师范大学、首都医科大学宣武医院、安影科技等单位结合结构磁共振影像数据处理、个体化结构脑网络构建和脑网络分析研究基础，对本标准规定的主要流程进行了验证。验证内容包括 sMRI 图像质量控制、图像预处理、脑图谱选择、脑区水平特征提取、特征归一化、个体化脑网络构建、网络稀疏化、拓扑属性计算以及网络梯度与基因表达关联分析等环节。

标准文本中设置了个体化脑网络计算实例。该实例基于结构磁共振成像数据构建脑区间结构相似性网络，并进一步分析宏观网络拓扑特征与基因表达模式之间的空间关联关系。结果表明，按照本标准流程构建的脑网络特征能够在宏观尺度上反映与分子层面基因表达相关的组织模式，可用于构建具有生物学合理性的脑网络模型，并支持对网络拓扑特征与基因表达模式之间关系的分析。

通过验证确认，本标准规定的相关流程具有可执行性和可复核性，能够为脑疾病机制研究、多模态数据融合分析以及结构磁共振个体化脑网络研究提供技术参考。

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。

本标准所规范内容属于结构磁共振影像处理和个体化结构脑网络构建流程，相关技术仍处于持续发展和完善过程中。作强制性标准可能限制不同研究方法、脑图谱、影像特征和网络建模算法的发展与创新，建议作为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，可以举办培训班或技术研讨会来指导标准的实施。建议围绕 sMRI 采集前准备、图像质量控制、图像预处理、脑图谱选择、脑区水平特征提取、特征归一化、个体化脑网络构建、脑网络拓扑属性计算和脑网络梯度分析等内容开展宣贯培训。

建议使用单位在开展相关研究时，按照本标准记录磁共振采集参数、预处理软件和版本、脑图谱、特征类型、归一化方法、相似性计算方法、稀疏化参数、拓扑指标和统计分析方法，以便于研究结果复核和多中心研究比较。

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 5 日