

“神经纤维的功能聚类 and 以白质为中心的 脑网络构建” 成果登记公示信息

成果名称:	神经纤维的功能聚类和以白质为中心的脑网络构建
完成单位:	哈尔滨工业大学（深圳）, Vanderbilt University
完成人员:	苏敬勇, Zhaohua Ding, 唐琳琳, 王小玲, 杨扬, 常新乐, 赵乙
研究起止日期:	2023-09-01 至 2025-08-31
主要应用行业:	科学研究和技术服务业
社会经济目标:	其他民用目标
评价单位:	广东省科学技术厅
评价日期:	2025-11-21
成果简介:	<p>目前, 针对国内外对多模态神经影像数据的研究多集中在灰质区域, 传统方法大多基于欧氏空间的统计建模, 难以有效应对高维度、非线性和时序性带来的挑战; 在白质功能研究方面, 虽然已有研究证明白质中存在可重复的 BOLD 信号, 但现有方法多依赖解剖特征或灰质功能连接, 缺乏直接利用白质功能信号进行聚类与图谱构建的系统性方法; 在脑网络建模方面, 大多数研究工作仍以脑区为节点, 虽然在功能连接组层面已有进展, 但以功能连接为节点的建模仍处于探索阶段, 尚未形成成熟的理论和应用框架。针对上述不足, 本研究旨在提出高维多模态数据的流形学习方法, 发展融合结构与功能的白质功能聚类技术, 并探索以功能连接为节点的多层次脑网络构建, 为脑功能非线性特征的刻画与精神疾病早期诊断提供新的理论与方法支撑。脑白质中神经纤维的连接和信号传递的协调机制可实现多个不同的神经环路, 进而实现不同的功能。与灰质相比, 大脑白质的研究则未得到应有的关注。白质架构动态可塑, 功能敏感丰富。充分利用白质功</p>

能信息,研究挖掘白质的功能性架构,将有助于进一步理解大脑生长发育和年老衰退等变化的机制,进而深入理解大脑的结构功能关系,不仅对临床神经科学等有重要的意义,而且可推动类脑智能的研究与发展。

围绕高维多模态的数据及其在脑科学前沿领域中的应用挑战,设立了三个主要研究内容:

(1) 高维多模态大数据处理方法研究

针对结构与功能信息的非线性、高维度和时序性等特点,研究非欧几何数据的降维去噪、比较配准与统计归纳等方法,建立一套分析处理多模态大数据的高效鲁棒算法。

(2) 白质中神经纤维的聚类与特征提取研究

结合功能与结构的时空信息,研究白质中神经纤维的聚类标准与方法,提取复杂连接网络的时空特征,建立功能聚类中时空信息熵的计算模型。利用正常与疾病状态的对照组数据验证方法与模型。

(3) 以功能连接为节点的脑网络构建方法研究

与传统的把脑区视为节点不同,研究以功能连接为节点构建脑网络,建立以功能为核心的方法理论,对进一步加深理解人脑认知加工的神经机制,揭示人脑正常发育、老化和神经精神疾病(如阿尔茨海默病、抑郁症)中脑功能连接组的变化,以及研究脑疾病早期诊断的影像标记物等临床问题具有重要潜在价值。

主要创新点包括:

(1) 提出一个综合的高维多模态大数据处理框架,通过整合结构和功能的多模态信息,完成神经纤维的功能聚类,改变了传统

的以结构为核心的聚类方式。

(2)通过对聚类结果的统计分析,构建大脑白质的功能图谱,用于探究白质的功能性架构与脑疾病早期诊断的影像标记物,填补基于束的脑功能图谱的空白。

(3)与传统的把脑区视为节点的脑网络不同,构建以白质为中心、功能连接为节点的脑网络,并进行多层脑网络的拓展研究。

本项目在学科发展与行业应用方面具有显著经济社会效益。通过提出高维多模态大数据的黎曼流形处理框架,有效应对了神经影像数据的高维、非线性和时序特性,为脑科学领域提供了可推广的通用计算工具。这一方法不仅推动了计算神经科学、医学影像学和人工智能等交叉学科的融合发展,也为医疗大数据处理、智能诊断和个性化医疗提供了新型技术支撑,有助于提升我国在医学影像计算和多模态脑科学研究领域的国际竞争力。

社会民生与临床应用层面,本项目通过白质神经纤维的功能聚类与特征提取,构建了首个兼具结构与功能属性的白质功能图谱,并在自闭症分类实验中取得优于传统方法的准确率。这为精神类疾病的早期诊断与干预提供了新的影像学标记物,同时也为儿童、青少年大脑发育规律的解析和认知障碍的防治提供了科学依据。此外,项目探索的“以功能连接为节点的脑网络构建”方法,将进一步推动多层次脑网络分析的发展,为复杂精神疾病的亚型分类、个性化治疗方案的设计以及神经退行性疾病的风险预测提供关键技术支撑,具有广泛的医学应用前景和社会效益。

成果转化与推广方面,项目研究中形成的算法框架和白质图谱资源具备良好的可复用性,可应用于临床影像诊断平台和科研

工具软件的开发，推动科研成果向医疗机构和企业转化。同时，本项目在执行过程中注重合作交流与国际对接，依托粤港澳大湾区国际科技创新中心的平台，与相关研究机构建立了长期合作机制，为成果的推广和示范应用创造了条件。

人才与知识产权建设方面，项目有效结合了博士生、青年科研人员和跨学科团队的培养，提升了高层次人才的创新能力和科研水平。在知识产权方面，项目成果具备申请发明专利和制定技术标准的潜力，为我国在脑科学研究、人工智能医疗和精准诊疗领域的标准化与自主创新提供了重要支撑。整体而言，本项目的实施不仅具有重要的科学价值和行业推动作用，还在社会健康、国家安全和科技自主创新等方面展现出深远的战略意义。