

各国脑计划实施特点对我国脑科学创新的启示

李萍萍, 马涛, 张鑫, 吴函蓉, 孙燕荣

(中国生物技术发展中心, 北京 100039)

【摘要】脑科学神经领域的研究被誉为理解自然和人类本身的“终极疆域”。近年来,世界各国纷纷启动脑科学计划,由多国组成的国际脑科学计划也正在筹划成立中。本文梳理了全球主要国家的脑计划进展、发展趋势及战略布局,对其发展特点进行了深入分析,并针对我国在脑科学领域科技创新面临的机遇和挑战,提出了相关建议。

【关键词】脑计划; 脑科学; 神经伦理; 科技创新

【中图分类号】R338 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1008-0392(2019)04-0397-05

Enlightenment for China's brain science innovation from global brain projects

LI Ping-ping, MA Tao, ZHANG Xin, WU Han-rong, SUN Yan-rong

(China National Center for Biotechnology Development, Beijing 100039, China)

【Abstract】The neuroscience research is known as the “ultimate territory” of understanding the nature and human beings. In recent years, many countries around the world have started brain projects. And the establishment of an international brain initiative is on the way. This article summarizes the latest progresses, future perspectives, and layout strategies of the brain projects of major countries in the world. Characteristics of brain project development of these countries are analyzed, and the opportunities and problems in technology development of brain science that China is facing are also discussed.

【Key words】brain project; brain science; neuroethics; scientific innovation

人脑是世界上最复杂、最神秘的天然信息加工系统,加强脑科学研究不仅有助于人类更清晰地认识自我,而且对降低神经系统疾病的社会负担、发展类脑智能、抢占未来智能社会发展先机都十分重要。

近年来,世界各国纷纷启动脑计划,脑科学研究不断深入^[1]。脑科学大国间的合作共享机制逐步完善,同时,竞争博弈也日趋激烈。2017年12月,美国、欧盟、澳大利亚、韩国和日本的脑计划代表在澳大利亚签署了《发起国际脑计划的意向声明》,筹划成立一个由多国组成的国际脑计划组织《Declaration of Intent to Create an International Brain

Initiative(ABI)》。我国历来重视脑科学领域科技创新,并进行了积极部署和筹备。梳理各国脑科学计划的发展概况并分析其发展特点,对我国未来在该领域的科技布局具有重要参考意义。本文针对几个主要发达国家脑计划的进展进行梳理分析,并为我国脑科学领域科技创新提出几点建议。

1 各国脑计划概述

1.1 日本

日本脑计划(Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies, Brain/MINDS)于

收稿日期: 2019-06-13

作者简介: 李萍萍(1984—),女,副研究员,博士.E-mail: lipingping_cncbd@163.com

通信作者: 孙燕荣.E-mail: sunyr@cncbd.org.cn

2014年启动,计划每年投入2 700~3 600万美元,实施周期为10年。其目标是建立猕猴大脑发育和疾病发生的动物模型,加快对人类大脑疾病,尤其是神经退行性疾病的研究。研究内容包括非人灵长类动物(尤其是猕猴)的大脑结构和功能图谱、创新型大脑成像技术、人类大脑图谱与临床研究^[2-3]。与美欧脑计划不同,MINDS的脑研究聚焦于猕猴^[4]。

该计划的现状及进展主要有:(1)绘制出猕猴的脑功能图谱,在单细胞层面分析猕猴生长发育不同功能/意识区域的定位,并建立猕猴帕金森疾病模型;(2)建立数据门户网站,收录人脑图像、猕猴大脑参考图谱、猕猴大脑MRI影像、猕猴大脑基因图谱等数据集;(3)未来将启动Japan Brain/MINDS-Beyond计划,吸引更多除本土脑科学家之外的全球各国脑科学工作者共同参与分享神经科学研究的数据及技术。

1.2 欧盟

欧盟脑计划(EU Human Brain Project, EU HBP)于2013年10月启动,规划周期为10年,旨在建立用于模拟和理解人类大脑所需的信息技术、建模技术和超级计算技术平台^[5]。该计划以千兆级运算为基础,由来自19个国家的118家脑科学研究所组成,共设置12个子项目,规划总投入10亿欧元。12个子项目为SP1小鼠脑结构、SP2人类脑结构、SP3系统性认知神经科学、SP4理论神经科学、SP5神经信息平台、SP6大脑模拟、SP7高性能分析计算平台、SP8医学信息平台、SP9神经拟态计算平台、SP10神经机器人平台、SP11管理与协调、SP12社会与伦理。与其他国家的脑计划相比,EU HBP更侧重通过超级计算机技术来模拟脑功能,部分脑科学家担心该计划将忽视脑科学基础研究的作用^[6]。

该计划以“可发现的、可存取的、可共同使用的、可重复使用的”4大原则(FAIR principles)从各子项目内收集脑科学研究的最新数据。这些数据共同构成一系列“多方数据共享、建模理论汇集以及交叉模拟验证”的闭环科研体系,从而打造汇聚脑科学、认知神经科学以及类脑计算的联邦信息共享平台。

1.3 韩国

为了加快脑研究的发展,促进技术产业化,韩国在1998年制定了《脑研究促进法》。经历两个“十年计划”,韩国提出了面向2030脑科学创新计划

(Korean Brain Innovation 2030),重点支持方向包括基于创新科技及新一代人工智能算法的连接组学分析技术及促进神经系统疾病早诊早治的精准医疗技术。2016年5月30日,韩国未来创造科学部发布《脑科学发展战略》,并将此作为韩国脑科学计划的起点。韩国计划投入3亿美元,使韩国2023年发展成为脑科学研究新兴强国。其具体目标包括取得超过10项世界最高水平脑科学研究成果;绘制及应用专业脑功能图谱;在脑疾病精准医学领域取得突破;开发能够占领国际市场的脑科学相关产品与服务等^[7]。

1.4 美国

2013年4月,美国启动“通过推动创新型神经技术开展大脑研究”(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies, BRAIN)计划^[8],旨在发展新型脑科学研究技术,探索大脑功能和机制等,侧重于新型脑研究技术的研发。其发展目标是既要引领科学前沿,又要促进相关产业的发展。该计划提出了9个优先发展的领域和目标,分别为:(1)鉴定神经细胞的类型;(2)绘制大脑结构图谱;(3)研发新的大规模神经网络电活动记录技术;(4)研发一套调控神经环路电活动的工具集;(5)建立神经元电活动与行为的联系;(6)整合理论、模型和统计方法;(7)解析人脑成像技术的基本机制;(8)建立人脑数据采集的机制;(9)脑科学知识的传播与人员培训^[9]。

该计划是由美国国家机构、学术研究组织、非营利性基金会以及企业共同推动,各研究主体的重点各有不同^[10]。美国国立卫生研究院主要聚焦于大脑回路的结构与功能研究。该计划已设立“BRAIN 2025重点专项”,前期强调技术研究,后期重点部署成果转化,预计总募集约49亿美元的经费。美国国家科学基金会重点资助脑科学相关研究,包括大脑动态活动及结构的多维度集成、神经技术研究的基础设施建设、脑功能计量理论及建模、类脑概念及设计研究、脑智发育的研究等。美国民间团体负责配合BRAIN计划研究,并推动研究成果的转化。据不完全统计,有4家私营机构、5家企业、11所大学或基金会参与了BRAIN计划的研究工作,这些团体的投资力度与BRAIN计划国家拨款持平甚至更高^[11]。卡夫利基金会(Kavli Foundation)以资助医学机构建立联合研究所,开展新一代神经科学与医疗相结合的技术研发为

主,每年募集4 000万美元支持脑科学研究;同时,通过建立统一数据存储标准以及平等互惠的数据共享平台,促进脑科学研究最新成果的全球分享。独立非营利性的Allen脑科学研究所(Allen Institute for Brain Science, AIBS)侧重于对大脑皮层的研究,已建立一系列大规模的研究计划来进行大脑皮层的基础科学研究,通过对脑的结构、运算和认知进行协同研究以加深对脑的认识。阐明大脑皮质活动与人高级生命活动的关系是AIBS的主要任务^[12]。

1.5 澳大利亚

2016年2月,在澳大利亚科学院的支持下,由澳大利亚神经科学学会、澳大利亚心理学会以及神经工程学领域的专家成员共同组建澳大利亚大脑联盟(Australian Brain Alliance, ABA),旨在协调和促进本国的大脑战略性研究,并与全球各国的大脑研究计划展开合作。ABA的愿景是确保政府部门、资助机构、产业团体、非盈利组织对神经科学研究和基础设施实行长期支持,建立综合性大脑研究议程,即澳大利亚大脑计划(The Australian Brain Initiative, ABI),实现澳大利亚的神经科学研究优势。ABI聚焦于神经科学与医学应用的转化性研究,主要包括精神卫生研究、神经系统肿瘤研究和脑外伤研究等3个重点方向^[13]。

澳大利亚在神经科学转化研究方面已初见成效,尤其在人工耳蜗设备、癫痫预警及拮抗装置、神经回路阻滞式镇痛装置及仿生视觉装置等方面具有明显优势。未来5~10年,政府将继续提供强大的政策支持及资金投入,从基础医学研究扩展到神经科学领域的其他转化研究,预计总投入将达到20亿美元。目前,ABA已获得联邦政府提供的前期资金1 700万美元,用于建设类似于欧洲HBP计划的大数据共享平台。

1.6 加拿大

加拿大脑科学家于2017年发起了脑科学研究战略(Canadian Brain Research Strategy, CBRS)倡议,致力于改善加拿大神经与精神健康状况,构建加拿大神经科学创新合作平台。其具体发展目标包括从突触、回路到行为的多层次大脑发育与功能机制研究;通过预防与治疗处理脑功能失调引起的健康问题;将脑科学研究成果应用于改善个体脑健康、增加教育机会以及提高社会-文化幸福感;通过类脑计

算方法建立更加合理的人工智能技术^[14]。另外,加拿大脑科学研究有以下3个基本准则:(1)“One Brain”原则:将复杂的大脑系统及相关疾病作为一个整体来看待,为理解健康人和患者大脑状况提供支持;(2)“Collaboration”原则:促进不同学科及组织的协作,鼓励合作研究和信息共享;(3)“One Community”原则:强调脑科学研究的资助者、研究人员、临床医生、管理人员、患者和护理人员处于同一个利益共同体,具有共同愿景^[15]。

过去两年中,加拿大在神经科学领域进行了巨大投入,总额超过12亿美元,包括人工智能研究机构的建立,神经科学开放性研究平台的建立,儿童脑发育研究和神经系统医学领域研究等。

2 各国脑计划的特点分析

各国脑科学计划的研究方向和组织形式虽各有侧重,但大致呈现以下5大特点。

2.1 以开展高强度、大规模、长周期的科技创新协作方式组织实施

美国、欧盟、日本、韩国等技术创新国家不约而同地在2014年左右启动了为期10年的脑科学计划。各国脑科学研究都得到政府和基金会等资助团体的支持,以高强度经费投入和大规模科技协作的形式进行组织实施。例如,美国“BRAIN 2025”项目预计每年募集9.5亿美元,总计超过49亿美元的研究经费^[16];欧盟脑计划由来自19个国家的118家脑科学研究所组成,规划总投入10亿欧元,是目前涉及国家最多,规模最庞大的脑科学创新协助组织^[5];日本计划总投入3.6亿美元^[3];韩国脑科学研究的战略投入预计约3亿美元等^[7]。

2.2 以破解人类脑疾病难题和发展类脑计算为重点方向

各国脑计划的重点和部署计划虽各有特色,但主要聚焦于破解人类脑疾病难题和发展类脑计算两大方向。(1)探索神经精神疾病的病理生理机制,各国都开展了相关项目进行深入研究。如日本应用猕猴为实验对象研究人类帕金森病的分子机制,韩国则开展以脑皮质神经网络为主的脑科学连接组学项目。(2)基于神经回路、脑功能建模衍生的类脑计算领域,各国均有相应的重点部署。欧盟人类脑计划以高能计算机为基础,旨在了解人类大脑功能

与意识相关机制,并将其转化为类脑计算、人工智能等产业化技术^[4]。韩国面向2030脑科学创新计划的重点研究方向包括基于新一代人工智能算法的连接组学分析技术^[7]。加拿大魁北克 MILA 项目、渥太华 Vector 研究所以及阿尔伯塔项目投入超过3亿美元用于人工智能研究机构的建设与研发^[14]。

2.3 将脑科学研究数据标准的建立和数据平台的建设作为促进脑科学创新的关键

世界各国都非常强调建立标准化的研究数据,并尝试通过网络数据平台及时分享最新的脑科学研究成果,借鉴国际现有的脑科学数据共享平台(HBP、INCF、CONP、CCC Network 等)的经验,以数据标准化、数据可利用化为目标,制订数据共享方案。其中,美国已建立统一的数据存储标准及平等互惠的数据共享平台^[17];欧盟最早将数据分享、数据平台建设作为推进重点^[18];日本 Brain/MINDS 计划的数据平台网站已开放;澳大利亚也在着手建设类似于欧洲 HBP 计划的大数据共享平台^[19]。

2.4 关注伦理研究,并强化神经伦理审查在开展脑科学研究中的重要作用

为了解决脑科学与神经技术发展引发的社会伦理争议及难题,有效规避潜在风险,多个国家在其国家脑计划中专门设立了与神经伦理相关的研究部门^[20]。美国脑计划在其多部门工作组(NIH BRAIN Initiative Multi-Council Working Group)中专门设立了神经伦理组,就如何解决神经科学研究中的伦理问题提供专家意见和建议^[21]。2016年10月,美国脑计划还发布了一项资助计划,用于研究神经技术和脑科学进步的伦理影响。日本脑计划由教育,文化,体育,科学和技术部(MEXT)于2008年成立了神经伦理研究小组,支持人脑功能研究,并帮助公众参与和理解大脑研究。制订了关于“人类大脑功能的非侵入性研究”中涉及伦理问题的指南^[22]。欧盟脑计划(HBP)设立“伦理与社会子项目”(Ethics and Society Subproject),通过提高政策制定者和公众的参与度,来促进负责任的研究与创新,并致力于提升科学家对于研究中所涉及的社会、哲学和伦理方面的重视^[23]。韩国脑计划将韩国神经伦理委员会作为其组织架构的一部分,负责对脑科学项目的道德审查^[24]。

2.5 开展广泛的国际合作,促进知识共享和成果转化

随着脑科学研究的不断深入,各国越来越重视国际合作对于知识共享和成果转化的重要作用。(1) 在各国脑计划中设立国际合作项目,如日本的 Japan Brain/MINDS-Beyond 计划等^[2]。(2) 在国家之间建立专业合作研发平台。如美国国家科学基金会(NSF)与加拿大健康研究所(CIHS)、魁北克研究基金(FRQ)、德国研究基金会(DFG)等国际机构合作设立的全球性神经科学研究项目“NeuroNex”(https://neuronex.org/, NSF 19-563)。(3) 多国共同发起国际脑科学计划(IBM)等全球性大规模国际合作组织。IBM 组织由欧盟脑计划信息平台负责人 Jan Bjaalie 教授和日本脑计划项目总监 Shigeo Okabe 教授担任战略委员会共同主席,由澳大利亚脑科学联盟主席 Linda Richards 教授和美国卡夫利基金会脑计划主任 Caroline Montojo 女士担任共同发言人。

3 对我国脑科学领域科技创新的启示

3.1 加大对我国脑科学领域的投入,探讨多元合作机制

各国脑科学计划的组织实施对加速本国脑科学研究,破解脑部疾病难题,推动相关学科进步和经济社会发展起到了重要作用。在组织实施机制方面,美国等国家建立了以政府投入和基金会等私营机构投入相结合的多元投入模式,充分激发各类创新要素活力,促进技术成果转化。我国在脑科学领域的技术开发和转化应用相对薄弱,宜借鉴国际发展经验,明确发展目标,加大科技投入,整合各类创新资源,加快推进神经科技领域的研究进展。

3.2 加快脑科学数据标准和大数据平台建设,推动数据共享

加强国家层面的统筹规划,通过建立脑科学信息资源共享平台,规范国内脑科学研究体系的数据标准、整合数据资源、挖掘数据的潜在价值、推进资源开放融合共享。借鉴欧美、日韩等国在样本采集和运转、数据编码、数据存储、数据利用等方面的经验,研究制定统一的数据管理标准,加强汇交数据的质量控制。促进我国脑科学数据标准规范化,加强信息共享,保护数据隐私,推动脑科学领域快速发展。

3.3 重视神经伦理研究,促进公众监督与交流

在国家层面,亟需强化神经伦理研究对于本国

脑科学领域科技创新的重要支撑作用。一方面,在我国脑科学计划及相关研究中,强化科学家对神经伦理和社会问题进行审慎的考察和分析。另一方面,针对涉及重大社会影响的新兴技术,加强公众监督,促进公共机构、医疗部门、媒体、商业组织和公众之间的透明沟通,通过开展跨学科跨文化的公开对话,建立公众信任,正确引导公众舆论。

3.4 加强脑科学领域的国际合作,主动融入全球创新网络

积极参与国际脑科学计划、国际大脑研究组织相关工作,借助其平台资源,了解各国脑科学技术发展方向,开展全球脑科学议题讨论,将对拓宽我国科学家国际视野,促进我国参与和主导国际规则制定,酝酿脑科学国际合作计划,提升国际影响力具有重要意义。

【参考文献】

- [1] YUSTE R, BARGMANN C. Toward a global brain initiative[J]. *Cell*, 2017,168(6): 956-959.
- [2] OKANO H, MITRA P. Brain-mapping projects using the common marmoset[J]. *Neurosci Res*, 2015,93: 3-7.
- [3] OKANO H, SASAKI E, YAMAMORI T, et al. Brain/MINDS: a Japanese national brain project for marmoset neuroscience[J]. *Neuron*, 2016,92(3): 582-590.
- [4] CYRANOSKI D. Marmosets are stars of Japan's ambitious brain project[J]. *Nature*, 2014,514(7521): 151-152.
- [5] NEUROLOGY T L. The human brain project: mutiny on the flagship[J]. *Lancet Neurol*, 2014,13(9): 855.
- [6] FRÉGNAC Y, LAURENT G. Neuroscience: where is the brain in the human brain project? [J]. *Nature*, 2014,513(7516): 27-29.
- [7] JEONG S J, LEE H, HUR E M, et al. Korea brain initiative: integration and control of brain functions[J]. *Neuron*, 2016,92(3): 607-611.
- [8] BARGMANN C I, NEWSOME W T. The brain research through advancing innovative neurotechnologies (BRAIN) initiative and neurology[J]. *JAMA Neurol*, 2014,71(6): 675-676.
- [9] 蒲慕明,徐波,谭铁牛.脑科学与类脑研究概述[J].中国科学院院刊,2016,31(7): 725-736.
- [10] INSEL T R, LANDIS S C, COLLINS F S. The NIH BRAIN Initiative[J]. *Science*, 2013,340(6133): 687-688.
- [11] 中国神经科学学会“神经科学方向预测及技术路线图研究”项目组.脑科学发展态势及技术预见[J].科技导报,2018,36(10): 6-13.
- [12] 王东辉,吴菲菲,王圣明,等.人类脑科学研究计划的进展[J].中国医学创新,2019,16(7): 168-172.
- [13] RICHARDS L R, MICHIE P T, BADCOCK D R, et al. Australian brain alliance[J]. *Neuron*, 2016,92(3): 597-600.
- [14] ILLES J, WEISS S, BAINS J, et al. A neuroethics backbone for the evolving Canadian brain research strategy[J]. *Neuron*, 2019,101(3): 370-374.
- [15] JABALPURWALA I. Brain Canada: one brain one community[J]. *Neuron*, 2016,92(3): 601-606.
- [16] JORGENSON L A, NEWSOME W T, ANDERSON D J, et al. The BRAIN Initiative: developing technology to catalyse neuroscience discovery[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2015,370(1668). Pii: 20140164.
- [17] MOTT M C, GORDON J A, KOROSHETZ W J. The NIH BRAIN Initiative: advancing neurotechnologies, integrating disciplines[J]. *PLoS Biol*, 2018,16(11): e3000066.
- [18] AMUNTS K, EBELL C, MULLER J, et al. The human brain project: creating a European research infrastructure to decode the human brain [J]. *Neuron*, 2016,92(3): 574-581.
- [19] AUSTRALIAN BRAIN ALLIANCE. A neuroethics framework for the Australian brain initiative[J]. *Neuron*, 2019,101(3): 365-369.
- [20] GREELY H T, RAMOS K M, GRADY C. Neuroethics in the age of brain projects[J]. *Neuron*, 2016,92(3): 637-641.
- [21] RAMOS K M, GRADY C, GREELY H T, et al. The NIH BRAIN initiative: integrating neuroethics and neuroscience[J]. *Neuron*, 2019,101(3): 394-398.
- [22] SADATO N, MORITA K, KASAI K, et al. Neuroethical issues of the brain/MINDS project of Japan [J]. *Neuron*, 2019,101(3): 385-389.
- [23] SALLES A, BJAALIE J G, EVERS K, et al. The human brain project: responsible brain research for the benefit of society[J]. *Neuron*, 2019,101(3): 380-384.
- [24] JEONG S J, LEE I Y, JUN B O, et al. Korea brain initiative: emerging issues and institutionalization of neuroethics[J]. *Neuron*, 2019,101(3): 390-393.