



发展人口神经科学: 拥抱多样性

左西年^{1*}, 李会杰^{2*}, 马海林^{3*}

1. 北京师范大学发展人口神经科学研究中心, 北京 100875;

2. 中国科学院心理研究所行为科学重点实验室, 北京 100101;

3. 西藏大学高原脑科学与环境习服重点实验室, 拉萨 850000

* 联系人, E-mail: xinian.zuo@bnu.edu.cn; lihj@psych.ac.cn; mahl@utibet.edu.cn

Developmental population neuroscience: Embracing diversity

Xi-Nian Zuo^{1*}, Huijie Li^{2*} & Hailin Ma^{3*}

¹ Developmental Population Neuroscience Research Center, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

² Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

³ Xizang Autonomous Region Key Laboratory for High Altitude Brain Science and Environmental Acclimatization, Tibet University, Lhasa 850000, China

* Corresponding authors, E-mail: xinian.zuo@bnu.edu.cn; lihj@psych.ac.cn; mahl@utibet.edu.cn

doi: [10.1360/TB-2024-0512](https://doi.org/10.1360/TB-2024-0512)



左西年

教授, 博士生导师, 国际人脑图谱组织会士(Fellow of OH-BM), 北京师范大学发展人口神经科学研究中心主任, 兼任中国未来研究会理事、脑科学创新应用工作委员会主任, 从事人口神经科学研究。

在“人类大科学计划”的时代背景下, 脑科学成为21世纪生命科学制高点^[1]. 人类面向解析自身科学认知的这一最后疆域, 对多学科交叉融合创新提出了重大需求, 清晰地认识到学科发展挑战和机遇^[2]. 人脑科学研究聚焦解读“人脑如何产生心理行为?”这一核心科学问题, 面临“管中窥豹”的“现象科学”困境, 需要深入研究影响人类脑智改变的多样性因素^[3]. 为此, 认知神经科学应揭示脑与心智个体差异的来源、规律及其科学机制. 个体差异的复杂性使得现有的学科方法体系面临研究结论的可推广性挑战^[4], 亟须发展出可以在群体和个体层面建模个体差异的方法学框架^[5], 提升各类技术和方法的信效度^[6], 量化脑智群体规律及其个体分化特征, 实现一般科学规律与个体应用转化的科学衔接, 引领学科的原始创新.

人口神经科学交叉融合神经科学、遗传学和流行病学, 全景化地识别塑造人脑结构和功能的先天(遗传)和后天(环境)、时间和空间的多样化因素, 为认知神经科学的发展带来了创新学科路线^[7,8]. 规范化建模为人口神经科学提供了一种方法学体系^[9]. 基于大规模代表性样本, 使用分布式回归等方法, 建立群体规律的统计模型, 并在此基础上推演个体偏离规范化群体参照的程度, 从而量化个体分化特征. 这一方法学框架为发展人口神经科学提供了新工具, 从人口生命周期的视角揭示了脑智个体差异的一般规律及其生物学基础^[10], 为解析脑智相关疾病的病因学机制及未来精准化临床实践提供了参考. 鉴于规范化建模方法的巨大潜力, 国内外过去十年迅速推进了采样策略优化、数据收集规范以及建模方法改进等方面的深入研究, 从而为加速其应用转化奠定了基础. 经过全球百余家实验室共同推动, 2022年“国际人类生命周期脑图表联合体”成立, 基于全球12万人次磁共振扫描影像绘制了人类生命周期脑图表并在Nature发布^[11], 提供了进行规范化建模转化应用的路径. 当前, 这一方法已经在儿科放射学诊断的临床实践中得到了应



李会会

中国科学院心理研究所研究员, 博士生导师, 中国未来研究会脑科学创新应用工作委员会副主任。从事毕生发展的健康评估及基于大脑可塑性的多模态干预研究。



马海林

教授, 博士生导师, 国家级青年人才, 现任西藏自治区高原脑科学与环境习服重点实验室主任, 兼任中国神经科学学会理事。主要从事高原环境下的脑与身心健康研究。

用, 展示了巨大转化潜力^[12]。未来, 脑图表常模有望在教育、医疗卫生和职业发展等个性化领域实现创新应用转化。

中国在人脑发育领域具有前期队列研究积累^[13], 第一时间受邀参与了这一国际联合体, 相关学者较早开展了人脑图表建模方法研究^[14], 原创了发展人口神经科学新兴学科^[15], 引领了人口神经科学领域的学科建设和发展。尽管目前人口神经科学的学科优势和前沿正在国际上迅速崛起, 然而国内的广大研究人员尚未充分认识到这一学科发展机遇, 对这一学科及其方法学体系和工具(特别是转化价值)的认识不够。与此同时, 随着人口神经科学的迅速推动, 领域对于造成其各种不均衡发展的因素(如种族、国家地区、性别、经济发展、地理环境、职业等)越来越重视, 促进了对学科发展和多样性研究的高度关注^[16-21]。本专辑通过联合中国的科研工作者, 特别是基层一线的年轻研究人员, 共同推动人口神经科学基础和转化应用研究, 展示国内近期取得的研究进展, 把人口神经科学成果写在祖国大地。

在本专辑中, 朱湘文等^[22]基于人脑图表标准化建模探索了特发性中枢性性早熟女童的大脑形态发育模式, 有助于更深入地理解激素相关发育障碍对脑发育模式的潜在影响。李恩莹等^[23]则基于脑图表研究了儿童慢食行为如何影响身体质量指数的大脑结构关联, 发现儿童后扣带回和舌回的皮层体积与身体质量指数之间存在强相关, 提示慢食行为减少肥胖的认知神经基础。以上两项研究展示了如何基于大规模人群常模, 有效地指导小样本研究。魏高峡等^[24]系统地回顾了近十年来“运动如何影响脑智?”的神经影像学, 不仅有助于理解运动的认知神经科学机制, 而且也为前述两项人口学问题提供了潜在干预选项。

刘伟彪等人^[25]深入调研了心理学与脑科学研究中的受试志愿者代表性, 发现以往研究很少报告种族/民族、受教育程度和社会经济地位等人口学信息, 所报告女性志愿者多于男性, 集中于西方的、年轻的和受过高等教育的人群, 而中老年人、受教育水平较低人群及低收入人口较少被关注, 亚洲人/亚裔、黑人/非洲裔、西班牙裔/拉丁裔人口较少受到关注。这对当前和未来人脑科学研究的人口多样性提出了根本要求, 是人口神经科学发展的迫切需要。

颜志雄等人^[26]建设了广西少数民族学龄前儿童心理发展队列, 揭示出12个少数民族聚居区学龄前儿童心理发展的特点和规律, 为进一步构建少数民族学龄前儿童脑智发育队列积累了人口学预研基础。刘艳秋等人^[27]探索了世居高原藏族的EPAS1基因变异与脑的关系, 发现较好的基因适应特性反映在人脑功能组织主梯度两端, 以应对高原环境。李昊等人^[28]基于2000余名医护人员建立了高原习服与适应的评估模型, 揭示了血氧饱和度和红细胞压积对评估个体在高原的习服和适应水平的有效性, 提示未来在藏区开展人口神经科学研究的基础性和紧迫性。白天阳等人^[29]开展了地理课程与空间能力的脑科学实证研究, 为地理课程评价、空间能力培养提供了跨学科的研究视角。遗传和环境因素共同调节人脑变化, 社会环境和自然环境对人类脑智发展的影响是多维度的, 如社会经济地位、社会接触、社会文化背景和大气颗粒物、重金属及各类新污染物等。刘芳好等人^[30]系统地综述了以上环境胁迫对人脑发育的影响, 提出构建环境神经科学的综合建模方法, 量化复杂环境体系对人类脑智发展的综合影响, 有助于为环保政策的制定和公共健康干预提供多样性的科学支撑。

磁共振成像技术安全可靠且易于操作和大规模实施, 空间分辨率高, 成为当前人口神经科学研究测量大脑表型信息最为倚重的一种工具。结构磁共振成像具

备很高的测量信效度,是当前大规模人口神经科学研究(如常模)的主流方法,但无法直接量化人脑功能。静息态功能磁共振成像可以测量人脑自发神经活动,揭示认知活动与精神疾病神经影像规律,初步已显示出在人口神经科学研究与应用中的技术潜力^[31-33]。然而,这一方法用于测量个体差异的信效度尚不完善^[34],面向诸如常模这类对测量有精准要求的研究和应用,无法被广泛应用,因此领域亟需开展优化静息态功能磁共振信效度的研究。罗伟等人^[35]综述了静息态功能磁共振成像与人口神经科学的研究进展,据此提出了未来信度研究的规范化指南。陈丽珍等人^[36]则借鉴生态网络和社会网络的形成理论,提出了人脑同伦功能亲和度图谱方法,并验证了以此量化人脑功能同伦特性的有效性。温昕等人^[37]研发出静息态和自然刺激双范式间的大脑神经活动融合图谱,建立了人脑功能生命周期发展常模,初步展示了预测个体年龄和认知能力的应用潜力。

发展人口神经科学得到加速式进展,得益于神经影像开放共享文化和实践的迅速推进,但在中国,开放式科学的文化和实践尚有很大上升空间。姜璐璐等人^[38]就科学数据共享的政策生态、基础设施和实践与挑战进行了系统总结。高瑜蔚等人^[39]则就国家基础学科公共科学数据中心建设与实践进行了总结,回顾了中心通过联合学术组织、期刊、数据平台构建数据出版社区等,推进创新科学数据出版新模式,引领科学数据的高效汇聚、开放共享、多学科交叉融合分析和创新应用。全生命周期的脑科学普及是开放式科学文化的另一重要推进剂。安慧萍人^[40]等普及了性早熟与脑发育的关系,呼吁家庭、学校和社会各界了解和掌握性早熟和青春期的科学知识,采取必要的干预,共同谱写“孩子青春不迷航、父母知识来导航”。王泉等人^[41]以人类生命周期脑白质容量图表峰值(28.6岁)为出发点,关注三十岁女性,其作为职场和家庭的中流砥柱,正处奋斗大好时期,保持对幸福、快乐、智慧和内在潜力的持续追求,有助于其全盛发展。王秀和封磊^[42]从老年脑健康的角度,普及促进老年人认知功能的积极生活方式干预,做个明明白白的老顽童。

综上,国际上人口神经科学正逐渐引领人脑研究的科学领域前沿^[43-45],本专辑经前期深入学术研讨,展现了中国在该领域的学者所投入的极大科学热情和专业创新,大大丰富了人口神经科学研究的多样性。该专辑作者几乎覆盖全国各地,既有领域资深专家,也有处于发展初期的年轻研究人员,更有研究生,体现出专辑“拥抱多样性”的组建初衷。稿件组织形式既有特定领域约请,也有大学教学课程团队的集体协同,更有国际人口神经科学大会的会议自由投稿。展望未来,人口神经科学研究应:(1)深入推进多学科交叉中各自学科最前沿知识的掌握,实现发展人口神经科学研究方法论的原始创新,特别是在规范化建模方面应充分融合当前的人工智能数据解析算法,提升常模方法的智能化应用水平;(2)建设发展人口神经科学的课程与编著领域高水平专业教材,实现教学科研融合,通过全国的大规模教育教学实践为占据国际脑科学前沿奠定人口资源基础;(3)填补基础研究和实际应用之间的转化沟壑,实现人口神经科学来引导脑科学创新应用。

致谢 感谢科学技术部“科技创新2030——脑科学与类脑研究”重大项目(2021ZD0200500)和国家基础科学数据中心“活体人口影像交叉学科脑数据库”(ID-BRAIN)资助。

参考文献

- Yuste R, Bargmann C. Toward a global BRAIN initiative. *Cell*, 2017, 168: 956-959
- Editorial. Cognitive neuroscience at the crossroads. *Nature*, 2022, 608: 647
- Editorial. Let's talk about diversity in human neuroscience. *Nat Methods*, 2023, 20: 1115
- Yarkoni T. The generalizability crisis. *Behav Brain Sci*, 2020, 45: e1
- Zhou Z X, Chen L Z, Milham M P, et al. Six cornerstones for translational brain charts. *Sci Bull*, 2023, 68: 795-799
- Zuo X N, Xu T, Milham M P. Harnessing reliability for neuroscience research. *Nat Hum Behav*, 2019, 3: 768-771
- Paus T. Population neuroscience: Why and how. *Hum Brain Mapping*, 2010, 31: 891-903
- Falk E B, Hyde L W, Mitchell C, et al. What is a representative brain? Neuroscience meets population science. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110: 17615-17622
- Zhang Q, Wang Y S, Chen L Z, et al. Normative modeling for developmental population neuroscience: A “microscope” through which the laws and characteristics of individual differentiation can be quantified in human brain-mind development (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2086-2100

- [张青, 王银山, 陈丽珍, 等. 发展人口神经科学中的规范化建模: 量化脑智发展规律与个体分化特征的“显微镜”. 科学通报, 2023, 68: 2086–2100]
- 10 Zuo X N, He Y, Betzel R F, et al. Human connectomics across the life span. *Trends Cogn Sci*, 2017, 21: 32–45
- 11 Bethlehem R A I, Seidlitz J, White S R, et al. Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 2022, 604: 525–533
- 12 Schabdach J M, Schmitt J E, Sotardi S, et al. Brain growth charts for quantitative analysis of pediatric clinical brain MRI scans with limited imaging pathology. *Radiology*, 2023, 309: e230096
- 13 Zuo X N, Zang Y F, Gao J H. Toward neuroinformatics of neuroimaging data sharing and open brain science (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2021, 51: 600–618 [左西年, 臧玉峰, 高家红. 推进神经影像数据共享与开放式脑科学. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 600–618]
- 14 Xu T, Yang Z, Jiang L, et al. A Connectome Computation System for discovery science of brain. *Sci Bull*, 2015, 60: 86–95
- 15 Zuo X N, He Y, Su X, et al. Developmental population neuroscience: Emerging from ICHBD. *Sci Bull*, 2018, 63: 331–332
- 16 Ricard J A, Parker T C, Dhamala E, et al. Confronting racially exclusionary practices in the acquisition and analyses of neuroimaging data. *Nat Neurosci*, 2023, 26: 4–11
- 17 Kopal J, Uddin L Q, Bzdok D. The end game: Respecting major sources of population diversity. *Nat Methods*, 2024, 20: 1122–1128
- 18 Webb E K, Etter J A, Kwasa J A. Addressing racial and phenotypic bias in human neuroscience methods. *Nat Neurosci*, 2022, 25: 410–414
- 19 Müller R, Ruess A K, Schönweitz F B, et al. Next steps for global collaboration to minimize racial and ethnic bias in neuroscience. *Nat Neurosci*, 2023, 26: 1132–1133
- 20 Cardenas-Iniguez C, Gonzalez M R. Recommendations for the responsible use and communication of race and ethnicity in neuroimaging research. *Nat Neurosci*, 2024, 27: 615–628
- 21 Duncan N W, Rae C L. Geographical and economic influences on neuroimaging modality choice. *R Soc Open Sci*, 2024, 11: 231496
- 22 Zhu X W, Mu Y Z, Luo C J, et al. A normative modelling approach based on brain charts to explore cortical development patterns in girls with idiopathic central precocious puberty (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3589–3596 [朱湘文, 慕玉竹, 罗崇静, 等. 基于人脑图表标准化建模探索特发性中枢性性早熟女童大脑皮层发育模式. 科学通报, 2024, 69: 3589–3596]
- 23 Li E Y, Wei D T, Dong D B, et al. Neuroimaging association between children's slowness in eating and body mass index: A study based on Chinese children's brain structural norms (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3597–3607 [李恩莹, 位东涛, 董德波, 等. 儿童慢食行为与身体质量指数的神经影像学关联: 基于中国儿童大脑结构常模的研究. 科学通报, 2024, 69: 3597–3607]
- 24 Wei G X, Ge L K, Lin X. A decade of progress in sports and exercise neuroscience from 2012 to 2022: A review and perspectives (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3492–3514 [魏高峡, 盖力锟, 林萱. 运动认知神经科学研究(2012~2022): 10年回顾与未来展望. 科学通报, 2024, 69: 3492–3514]
- 25 Liu W B, Chen Z Y, Hu C P. Sample representativeness in psychological and brain science research (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3515–3531 [刘伟彪, 陈志毅, 胡传鹏. 心理与脑科学研究中的样本代表性. 科学通报, 2024, 69: 3515–3531]
- 26 Yan Z X, He Z, Zou X, et al. Physical and mental development patterns of preschool children from ethnic minority groups in Guangxi (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3608–3616 [颜志雄, 贺哲, 邹霞, 等. 广西少数民族学龄前儿童身心发展规律研究. 科学通报, 2024, 69: 3608–3616]
- 27 Liu Y Q, Fan C X, Zhang X J, et al. Correlating EPAS1 gene variations to hypoxic environments with structural and functional brain network adaptations of Tibetans in the Qinghai-Xizang Plateau (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3617–3627 [刘艳秋, 范存秀, 张新娟, 等. EPAS1基因适应性遗传变异与世居高原藏族脑结构和功能网络的关系. 科学通报, 2024, 69: 3617–3627]
- 28 Li H, Liu X T, Wu Y F, et al. Evaluation model of acclimatization and adaptation at high altitude (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3628–3641 [李昊, 刘晓彤, 吴怡璠, 等. 高原习服与适应的评估模型构建. 科学通报, 2024, 69: 3628–3641]
- 29 Bai T Y, Yang T Y, Dong Z, et al. The correlation between geography courses and spatial ability: An empirical study of brain imaging (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3642–3650 [白天阳, 杨天宇, 董政, 等. 地理课程与空间能力相关性的脑实证研究. 科学通报, 2024, 69: 3642–3650]
- 30 Liu F Y, Zhao J H, Wang Y S, et al. Effects of environmental stress on human brain development and its mechanisms (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3532–3546 [刘芳妤, 赵江华, 王银山, 等. 环境胁迫对人脑发育的影响及其机制. 科学通报, 2024, 69: 3532–3546]
- 31 Fox M D, Raichle M E. Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nat Rev Neurosci*, 2007, 8: 700–711
- 32 Biswal B B, Mennes M, Zuo X N, et al. Toward discovery science of human brain function. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2010, 107: 4734–4739
- 33 Finn E S, Poldrack R A, Shine J M. Functional neuroimaging as a catalyst for integrated neuroscience. *Nature*, 2023, 623: 263–273
- 34 Noble S, Scheinost D, Constable R T. A decade of test-retest reliability of functional connectivity: A systematic review and meta-analysis. *Neuroimage*, 2019, 203: 116157
- 35 Luo W, Luo C J, Yan Z X, et al. Resting-state fMRI and population neuroscience: Progresses and guidelines for reliability research (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3547–3559 [罗伟, 罗崇静, 颜志雄, 等. 静息态功能磁共振成像与人口神经科学: 信度研究进展与指南. 科学通报, 2024, 69: 3547–3559]
- 36 Chen L Z, Zuo X N. Human brain mapping of homotopic functional affinity (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3651–3665 [陈丽珍, 左西年. 人

- 脑同伦功能亲和度图谱. 科学通报, 2024, 69: 3651–3665]
- 37 Wen X, Dong L, Cao R, et al. Norm atlas of lifespan for age and cognitive ability prediction based on dual-paradigm fMRI (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3666–3674 [温昕, 董立, 曹锐, 等. 基于双范式功能磁共振成像的毕生常模在年龄和认知能力上的预测. 科学通报, 2024, 69: 3666–3674]
 - 38 Jiang L L, Gao P, Zhou Y C. Population neuroscience data sharing: Policy ecology, infrastructure, practices and challenges (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3560–3577 [姜璐璐, 高鹏, 周园春. 人口神经科学数据共享: 政策生态、基础设施、实践和挑战. 科学通报, 2024, 69: 3560–3577]
 - 39 Gao Y W, Hu L L, Zhu Y H, et al. Construction and practice of National Basic Science Data Center (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3578–3588 [高瑜蔚, 胡良霖, 朱艳华, 等. 国家基础学科公共科学数据中心建设与发展实践. 科学通报, 2024, 69: 3578–3588]
 - 40 An H P, Ding J R, Zhu X W, et al. Timely voyage of adolescence: Precocious puberty and brain development (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3484–3485 [安慧萍, 丁菊容, 朱湘文, 等. 青春不速航: 性早熟与脑发育. 科学通报, 2024, 69: 3484–3485]
 - 41 Wang Q, Liu Z L, Zhu Y, et al. Focusing on the thirties: 30-year-old women through the lens of brain science (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3486–3488 [王泉, 刘泽霖, 朱言, 等. 关注三十岁: 脑科学视角下的30岁女性. 科学通报, 2024, 69: 3486–3488]
 - 42 Wang X, Feng L. Lifestyle intervention promotes cognitive function in the elderly (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2024, 69: 3489–3491 [王秀, 封磊. 明明白白老顽童: 生活方式干预促进老年人认知功能. 科学通报, 2024, 69: 3489–3491]
 - 43 Cardenas-Iniguez C, Schachner J N, Ip K I, et al. Building towards an adolescent neural urbanome: Expanding environmental measures using linked external data (LED) in the ABCD study. *Dev Cogn Neurosci*, 2024, 65: 101338
 - 44 Crone E A, Bol T, Braams B R, et al. Growing Up Together in Society (GUTS): A team science effort to predict societal trajectories in adolescence and young adulthood. *Dev Cogn Neurosci*, 2024, 67: 101403
 - 45 Paus T. Population neuroscience: Principles and advances. In: *Current Topics in Behavioral Neurosciences*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2024