



基于个体差异的大样本脑影像数据在心理学研究中的应用

位东涛^{①②③†}, 蒙杰^{①②†}, 李亚丹^{①②}, 张庆林^{①②}, 邱江^{①②*}

① 西南大学心理学部, 重庆 400715;

② 西南大学人格与认知教育部重点实验室, 重庆 400715;

③ 西南大学数学博士后流动站, 重庆 400715

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: qiujiang318@swu.edu.cn

2014-11-10 收稿, 2014-12-31 接受, 2015-01-28 网络版发表

国家自然科学基金(31271087, 31470981)、教育部新世纪优秀人才 2011 支持计划和重庆市青年拔尖人才支持计划资助

摘要 心理学研究通常借助认知神经科学的技术手段, 揭示人格、认知以及情绪等心理结构的脑机制。然而, 以往的研究结果通常会受到被试样本量较小、实验设计和数据分析技术的制约。同时, 个体在行为反应、认知或情绪加工中所表现出的个体差异也容易被忽视。人类的行为活动是基因、脑和环境相互融合、相互关联统一的有机过程。因此, 调查个体成长的相关环境因素和生活经历, 并收集相关的人格、情绪和认知等大样本化的行为、多模态脑影像数据, 有利于从个体差异的角度探讨: (1) 人格特质个体差异的神经基础; (2) 情绪相关的个体差异的神经基础; (3) 认知能力的神经基础; (4) 建构环境-人格-大脑-行为反应相互关联的预测模型。本文选择性地阐述近期国内外一系列探讨大样本脑影像与行为之间关系的研究, 从个体差异的角度探讨行为活动、人格、情绪以及认知能力的神经基础。

关键词

个体差异
人格
情绪
认知
大样本
多模态

一直以来, 认知神经科学研究常把大脑结构或功能上的个体差异作为干扰因素处理, 而不是将其视为具有大脑组织本身的生理意义的特性或表现^[1,2]。最近, 大量研究表明, 个体在认知、情感和社会性上的差异有其一定的生物性基础, 且人与人之间思考或行为方式上存在差异的根源与大脑结构及其功能连接有关^[3,4]。以往的神经影像学的研究主要受限于: (1) 被试的小样本化(样本量大概在 10~100 之间)抽样导致的误差; (2) 通过组间平均比较, 忽视了被试在大脑结构和功能水平上的个体差异, 往往导致较低的统计检验力, 以及结果的不尽相同, 甚至相互矛盾。越来越多的研究已经尝试探索人类大脑功能连接的个体差异性^[1,5]以及结构的个体差异性与知觉、

注意、记忆、智力、人格、情感、运动行为和决策能力等的关系。随着国内外各个影像中心的功能性核磁共振仪器的普及、影像学技术的发展、脑影像数据的不断累积, 以及高效数据处理中心的完善, 大样本影像(如大于 1000 人)数据库的建立已经变得相对可行。如此多站点、多中心的大样本脑影像数据库相互合作, 有利于我们更加全面、深入地理解个体的大脑结构和功能连接与行为的关联, 也便于我们更好地基于个体差异来研究大脑-心理, 揭示结构-功能之间的本质关系。

本文主要是基于国内外和本研究团队的大样本脑影像数据库的相关研究成果, 选择性地阐述最新的研究进展, 希望为研究者提供新的研究视角, 能够

引用格式: 位东涛, 蒙杰, 李亚丹, 等. 基于个体差异的大样本脑影像数据在心理学研究中的应用. 科学通报, 2015, 60: 976–985

Wei D T, Meng J, Li Y D, et al. Application of big neuroimaging data from individual differences in psychological research (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 976–985, doi: 10.1360/N972014-00902

对从个体差异的角度探讨大脑结构、功能与行为、认知以及情绪等的神经科学基础有一个框架性的认识。

1 大脑结构和功能的个体差异性

在过去的几十年里,随着认知神经科学技术的不断发展,对人类大脑结构以及大脑生长发育轨迹的研究开始出现。例如,Lenroot等人^[6]利用结构核磁共振成像数据发现童年和青少年时期(4~20岁)的大脑结构形态会随着年龄发展呈现特定的发展曲线,即白质在这段时期内会一直持续增加,而灰质的发展曲线则呈现出一种倒“U”型的轨迹,且其中还存在着个体、性别以及大脑区域的差异性^[7]。而在早期的一项针对成年和老年人(31~80岁)大脑形态学的纵向追踪研究中,发现即使没有明显的认知能力下降,高级认知区域的大脑形态会随着年龄的增长而逐渐萎缩,而视觉和内嗅皮质与年龄的增长没有显著相关,小脑的发展轨迹则呈正“U”型曲线^[8],这说明大脑灰白质形态的发展变化呈现区域上的差异和时间上的先后。灰质与白质发展在早期发展轨迹的不同,可能与突触的生长、树突分支的变化以及髓鞘的形成有关^[9,10]。另外,个体大脑皮层成熟的程度以及生长发育的轨迹可能与青少年时期精神和情绪疾病发生有关。比如多动症、精神分裂症和自闭症^[11~14]。以往关于精神疾病的相关研究进一步拓展并深化了我们对大脑结构正常和异常的发展模式以及大脑可塑性的理解。因此从行为和神经角度发现个体毕生发展的关键期,探测异常的行为和发育轨迹,对行为、神经以及精神障碍的发病提供预警具有重要意义。大脑发展模式或区域的可塑性都可能与特定行为或疾病有关,因此从大脑结构与人类行为、认知以及情绪的个体差异角度开展研究,能够有效地揭示特定心理活动、认知以及情绪的神经机制。

除大脑形态存在个体差异外,大脑区域的功能以及功能网络属性也存在个体差异,并且个体差异高度分化的程度依次体现在额叶、颞叶和顶叶上,而视觉皮层的个体差异性变化较小。进一步使用网络和图论的方法发现:个体差异化较大的网络是额顶网络、腹侧和背侧注意网络、默认网络以及边缘系统网络;差异性变化较小的是感知运动和视觉网络^[5],而这些高度分化的大脑区域涉及更复杂、更高级的认知功能。另外,Zuo等人^[15]采用功能连接组的同伦功能指标,发现个体毕生发展趋势呈“U”型轨迹,这也

说明在发展过程中,大脑功能也存在个体差异。另外,童年和青少年时期(7~30岁)的功能连接也呈现渐进式的生长曲线,而且扣带盖区控制网络(Cingulo-opercular,也称作执行控制网络或凸显网络)对个体成熟的预测准确率最高^[16]。Cao等人^[17]通过图论的方法发现人类的脑功能网络在整个年龄跨度范围内(7~85岁)保持着较高的随机模块化和“富人俱乐部”的特性,而且随着年龄的不断增大,其具体表现为随机模块化呈线性递减,局部效率和“富人俱乐部”呈倒“U”型曲线的模式。功能上的个体差异可能源于大脑结构形态的差异,比如区域功能连接与皮层进化的膨胀程度显著相关,与皮层沟深呈显著正相关,而和皮层厚度相关不显著^[5,18]。Byrge等人^[19]也提到,人类的行为会受到大脑功能网络发展的影响从而发生变化;反过来,人类的行为也会影响大脑网络的发展。同时,已有研究也发现人类个体大脑结构的可变性还会受基因以及生长环境的影响^[20]。大脑网络既是因又是果,动态的神经活动以及分布式的大脑结构和功能网络都与人类的各种认知行为紧密相关^[19]。就像Byrge等人^[19]在综述里总结的一样,随着年龄的增长,大脑结构和功能也会不断地变化和发展。相对来说,结构是较稳定的,但也会随着数天或者数周的干预训练发生一定的变化^[21~23],且该变化可能与髓鞘或轴突的生长有关^[24]。功能网络是动态变化的,即自发的或者由事件导致的神经元活动每时每刻都在不断地进行着。但是,随着时间的延长,功能网络也会表现出较为稳定的特性^[25],这反映了功能网络内在的本质属性^[26,27]。

以往认知神经的研究通常都进行组间平均比较,而忽视了个体差异。但根据以上的文献梳理我们可以清楚地看到,大脑结构和功能本身就存在着个体差异,个体差异并非是噪音,而是大脑形态结构和功能特有的属性^[1,2]。因此,影像学研究中如何降低个体差异对结果的影响,或者如何更全面地揭示人类个体差异的神经基础成为当前的热点和难点问题,并保持着持续上升的态势。心理-行为和大脑之间的关系,以及如何更好地把行为与大脑结构或者功能联系起来,一直是认知神经科学家和心理学家关注的重要问题之一。最近,一些影像学研究开始注重对个体差异的研究,例如,情绪冲突^[28]、A型人格^[29]、拒绝敏感性^[30]、社会支持^[31,32]、创造性^[33,34]和智力^[35]等,同时也涉及了许多基本的认知能力,如注意与知

觉^[36]、时间知觉^[37]等。这些研究都从不同侧面证实了大脑结构和功能的个体差异与行为、认知以及情绪具有较密切的联系。认知、人格与情绪是心理学研究的重要领域。其中,人格是个体相对稳定的心理特征的总和,而情绪是个体心理活动的重要组成部分,人格和情绪的相互作用还会影响认知的过程和内容^[38]。因此针对认知、情绪和人格的个体差异神经机制的探讨有助于我们充分理解人格-情绪-认知的相互作用机制。

2 人格特质个体差异的神经基础

在认知神经科学研究领域,探讨个体差异往往是不能忽视人格的,因为人格的独特性、稳定性以及具有一定程度的遗传性的特征,决定了其与大脑结构或功能具有密切的联系^[39,40]。对人格神经机制的探讨,会拓展我们对人格结构的理解和起源,并进一步根据对人格和大脑结构、功能属性关系的理解,更好地预测个体的行为和生活事件。DeYoung 等人^[41]首次利用体素形态学的方法(voxel based morphometry, VBM)并扩大了样本规模,研究了大五人格各个维度与大脑灰质体积的关系,发现外向性与内侧眶额叶皮层体积显著相关,且这个区域的认知功能主要涉及奖赏信息的加工;神经质与内侧颞叶、基底神经节、内侧额叶以及中部扣带的灰质体积显著相关,而这些区域主要和威胁、惩罚以及消极情感的加工有关;宜人性主要与加工他人的意图和精神状态的颞顶联合脑区的体积有关;尽责性主要和外侧额叶的体积显著相关,该脑区主要涉及计划的制定以及行为的认知控制,而开放性则没有发现与其显著相关的大脑局部灰质体积区域。随后, Bjørnebekk 等人^[42]融合了多种模态的影像指标研究了265名志愿者的大五人格与大脑结构间的关系,发现神经质和大脑结构的联系更紧密,例如与全脑体积、部分白质纤维以及颞-额叶表层区域的厚度都呈显著负相关,而外向性和额下的皮层厚度呈显著负相关,尽责性和颞顶联合皮层的皮层厚度呈显著负相关,开放性和宜人性则没有发现与其显著相关的大脑结构指标。这两篇文章都是采用大五人格问卷,探讨各个人格维度与大脑形态学的关系,在一定程度上也反映出人格各个子维度的大脑特定区域结构基础。另外也有部分研究采用艾森克人格问卷探讨人格维度与大脑结构的关系,即外向性与双侧杏仁核、海马旁回、右侧

颞中回、左侧额上回的体积显著负相关,而神经质与右侧小脑的体积显著正相关,同时也与左侧额上回的灰质体积显著负相关^[43]。无论采用何种人格测量问卷,都基本发现人格各个维度特定的大脑区域结构基础。除了以上研究从大脑的宏观尺度探讨人格与大脑结构的关系,还有Lei等人^[44]在微观尺度(弥散张量成像, diffusion tensor imaging, DTI)描述了纹状体-皮层下-皮层上的网络系统的神经纤维与个体气质性格的关联。当然,不仅大脑结构与人格特质具有密切联系,也有研究发现大脑功能连接与人格各个维度的关联。例如, Adelstein 等人^[45]用种子点功能连接相关的方法对人格维度进行了研究,发现人格的每一个因素都具有一种独特的静息态功能连接模式。更有意思的是, Wei 等人^[46]发现在不同的低频频段范围内,人格与功能连接的关联是不同的,这也表明人格特质与功能连接的关系可能存在一种不同频段的脑区广泛分布的特点。采用基于图论的功能网络研究方法^[17,47,48],发现人格特质各个维度与全局网络和局部网络属性的关联。这些结果都在一定程度上反映了人格维度在大脑功能区域的分布具有空间分布的特异性,而且可能还具有特定的频段范围。

上述研究结果表明,人格特质的各个维度具有一定的脑结构和功能基础,并且各个维度在大脑结构或功能关联区域上交叉不多。以往大部分研究对人格个体差异的神经机制的研究,都基本采用相关分析的方法,探讨人格维度与大脑结构和功能区域的相关关系,将来的研究应改进统计方法,通过大脑本身的结构或功能属性来分类或预测个体人格特质类型。尽管人格具有较高的基因遗传基础^[49],但人格各个维度是否存在特定的基因类型,以及基因类型、大脑结构或功能区域与人格维度的特异性之间的关系依然不够清晰^[50]。另外,对人格的测查主要采用自我报告的方式,很容易受到个体对自身认知能力的影响,因此改进人格测查方式(如通过设计实验任务,评定个体的负性情感倾向、冲动或信任的能力),或许能帮助我们更好地探讨人格个体差异的神经基础。各个人格维度相关的大脑结构和功能与个体的认知功能或情绪都有密切的联系,因此未来除了针对人格的个体差异神经机制研究外,还应该基于大数据,收集与人格相关的环境变量、与个体相关的行为和情绪变量,通过深入的数据挖掘,探讨人格在情绪、认知以及行为过程中所起的作用。

3 情绪相关的个体差异的神经机制研究

情绪是一种复杂的心理生理学现象,随着认知神经科学领域中情绪相关研究的不断深入,人们发现情绪、人格、某些认知功能在神经系统中存在较大的重叠。而且,在情绪的认知、感受、行为和情绪调节上都存在着个体差异,并且还受气质、性格以及动机的影响。人格和情绪的个体差异一直都是心理学和认知神经科学的热点。情绪问题或情感障碍的发生受多种因素的影响,除了基因遗传和人格外,如个体童年早期生活经历、家庭富裕程度,以及生长过程中所经历的生活事件也会影响个体的身心健康。因此,大样本多模态脑影像和行为数据的收集,有利于形成具有识别和监测功能的预测模型,用来预测个体情绪状态或情感障碍的发生,及时进行干预和治疗。Whelan等人^[51]用机器学习方法针对大样本青少年数据库建立当前和将来青少年酒精滥用模型(综合特定基因、大脑结构和功能、个体人格和认知的差异、环境因素、吸烟和酒精暴露程度等生活经历因素),发现生活经历、神经生物学差异以及人格能够较好地预测个体的酗酒程度。该研究首次通过全方面考察易感性因素,综合预测个体的酗酒程度,深入揭示酒精滥用的病因学机理。另外,一些研究单独考察情绪障碍的易感性因素神经机制,比如最近研究发现儿童时期的虐待是青少年情绪障碍发生的原因之一,而且影响大脑结构形态。van Harmelen等人^[52]采用VBM的分析方法,对在16岁之前遭受过情绪虐待的患有焦虑或抑郁的患者(未服药, $N=84$)与没有遭受过情绪虐待的健康个体($N=97$)进行比较,结果发现童年时期遭受过情绪虐待的个体其左侧背部的内侧前额叶的灰质体积明显减少,即使是没有遭受过身体虐待和性虐待的个体,也表现出相同的趋势,且不存在性别差异。有意思的是,同一时期的另外一项研究^[53]发现,儿童期遭受频繁身体虐待会导致额叶体积显著减小,并且表现出较高程度的社会压力(学业成绩、家庭压力等)。这些结果表明儿童期受虐待经历与大脑结构的异常具有某些联系,是个体的情绪障碍发生的易感性因素。但情绪、早期生活经历分别与大脑结构或功能是否具有特定的联系,以及情绪和早期的生活经历对个体心理疾病的发生是如何起作用的,仍然需要进一步探讨。采用精神疾病患者作为被试,其结果可能受患者的临床症状和其他共

病症状的干扰,因此也有研究针对健康成年人群体,探讨健康人情绪个体差异的神经机制,比如Sun等人^[30]使用VBM的方法,研究了338名健康被试在拒绝敏感性上的个体差异的大脑结构基础。结果发现拒绝敏感性和颞下回的灰质体积成正相关,和扣带回的灰质体积成负相关,推测其可能主要与社会认知功能(如社会排斥、心理理论,以及情绪加工等)的异常有关。而在成人身上不幸事件的累积或长期的应激状态都与精神疾病密切相关。Ansell等人^[54]研究成人身上应激生活事件的累积和大脑结构的关联,发现暴露在负性事件环境下的个体,与情绪加工、压力、奖赏相关的脑区大脑结构存在异常。除了外界应激生活事件外,个体自身的情绪调节能力的高低与精神疾病或心理问题的产生也具有密切关系。Deng等人^[28]同样基于VBM的研究方法发现,积极正向的情绪冲突解决能力与广泛分布的灰质密度增加有关,这些脑区主要包括背侧前扣带、腹内侧前额叶、辅助运动区、杏仁核和纹状体等脑区。身心疾病是躯体障碍与心理疾病共同作用的结果,也是焦虑或抑郁症状重要的表现形式。Wei等人^[55]发现个体的海马旁回的体积与躯体抱怨的水平有显著的正相关关系,并受到个体特质焦虑水平的调节,在一定程度上揭示潜在的身心疾病与大脑结构的关系。Song等人^[56]采用VBM方法研究情绪调节与身体健康关系的神经机制,发现个体情绪调节能力以及身体健康都与杏仁核体积呈显著正相关,且两者关系受到个体的杏仁核体积大小的影响。虽然,压力和应激性生活事件是造成个体情绪障碍发生的主要因素,但是某一情境在多大程度上被个体知觉或评定为压力或应激情境,与情绪障碍的产生有更为密切的关系。Li等人^[57]发现知觉压力的个体差异主要与边缘系统的大脑区域的灰质体积相关。上述系列研究,大多数采用单模态探讨健康成年人情绪相关的易感性因素与大脑形态结构的联系,而忽略多模态融合,从多维度和尺度揭示情绪易感性因素的个体差异神经机制。在一项针对儿童的个体焦虑水平的研究中,Qin等人^[58]采用大脑结构和功能融合的方法,发现个体杏仁核结构的大小以及杏仁核和前额叶的功能连接可以预测孩童期的个体焦虑水平,这表明青少年时期的杏仁核的结构和功能的个体差异可能与成人时期焦虑障碍的发生具有密切联系。但大多数研究只是孤立地去考察单个变量与大脑结构或功能之间的关系。将来的

研究应综合考虑,建立合适的模型描述或预测个体的情绪障碍发生的可能性,尽早地提供预警或提前干预。

对情绪障碍的发生神经机制的探讨,不仅要考虑其易感性因子,也要考虑其保护性因子。比如,较高的社会支持以及其领悟的社会支持能力等。Che等人^[31]基于体素的形态学分析方法探讨领悟社会支持的个体差异的神经基础,发现领悟社会支持与后扣带一个核团的灰质体积呈正相关关系,意味着一种更强的自我参照加工和社会认知能力。进一步采用静息态功能连接的方法发现^[32],基于种子点的功能连接分析和频谱分析揭示了领悟社会支持与默认网络(default mode network, DMN)同步活动的正相关关系。这些结果都表明个体的结构和功能连接差异与个体心理复原能力存在特定的联系。Li等人^[59]针对以往研究发现女性比男性表现出更多的求助行为,探讨了求助行为的性别差异的神经机制,发现求助行为得分与灰质体积之间的关系在男女性别上存在明显差异,主要集中在双侧眶额叶皮层并扩展到膝下前扣带皮层。即在女性中,求助行为得分越高者,则膝下前扣带的灰质体积越小,而在男性中表现出了与此相反的趋势。以上结果也表明,对情绪障碍发生的病因学机制的探讨,不能孤立地局限在负性消极的事件或者易感性因素,还应该考虑积极生活事件、个体积极情绪的体验频率或保护性因素对负性情绪的调制,综合各方面指标预测个体的情绪和行为。

综合以上关于情绪的个体差异性与大脑结构关联的研究,我们可以看出,无论是情绪调节还是情绪反应以及与情感障碍复原相关的求助和社会支持行为都有一定的结构基础。但是,关于情绪个体差异的本质原因,基于现有研究证据,我们推测其与其他行为一样,也是遗传、脑和环境因素交互作用的结果。而情绪障碍的产生主要是和不幸生活事件以及早期的不幸经历有关。而遭受同样的经历,没有表现出情感障碍的个体可能是与其本身的复原能力或其他保护性因素有关。因此,针对情绪相关因素的个体差异的神经机制研究,可以拓宽我们对情绪个体差异和情感障碍的发生及其病理生理机制的理解。大脑结构和功能可能具有调节作用,调节了情绪和认知的关系。最近也有综述认为大脑发展对行为的影响既是因,又是果,大脑能够影响和支配个体的行为,反过来,行为也会影响大脑的发育和发展^[20]。因此,对

大样本影像数据库个体开展系统的纵向跟踪研究,有利于我们进一步揭示大脑和情绪障碍之间的因果关系。

4 认知相关的个体差异神经机制的研究

最近关于认知的个体差异神经机制的研究大量涌现,其大多集中在基本认知能力的个体差异神经机制的研究,例如,注意与知觉^[36]、时间知觉^[37]、数字加工^[60],在一定程度上说明个体的不同认知能力具有特定的大脑结构基础。另外有少部分的研究关注高级认知能力的个体差异与大脑结构和功能的关系,如移情能力^[61,62]、对疼痛的加工^[63]、工作记忆^[64]和阅读能力的个体差异神经机制^[65]。最近一项融合结构和神经纤维追踪的研究,发现左侧额页和颞极的体积,以及连接两个区域的弓形神经纤维束和个体的类比推理能力密切相关^[66]。He等人^[65]通过多个行为任务得到与阅读能力相关的3个子成分,然后结合多变量分析方法,发现阅读能力的各个子成分都有特定的神经结构基础。从以上研究不难发现,大样本数据的优势可以结合不同的脑影像模态,或者采用机器学习理论探讨高级认知能力的个体差异的神经机制。另外,也有研究从个体差异的角度探讨创造性的神经机制。例如,Chen等人^[67]通过结构和静息态数据的融合分析,发现个体的创造性成就与双侧背部扣带、喙部扣带和辅助运动区的灰质体积呈负相关,进一步功能连接分析则显示个体创造性成就和认知灵活性均与背部扣带和内侧额上回的功能连接强度呈负相关,而且创造性成就还受个体认知灵活性与背部扣带-额叶的功能连接强度的影响。创造性和大脑结构的关联同时也会受到人格特质的影响。Li等人^[33]对大脑结构、人格特质和创造性三者之间的关系进行了研究,发现颞中回的体积与创造性倾向呈显著正相关,而且创造性能力倾向与颞中回的关系会受到开放性的调节。另外,个体的创造性水平以及相关的大脑活动状态也会受到创造性训练的影响^[34]。同时也有研究者探讨了个体的工作记忆能力、创造性发散思维能力与大脑结构的关系^[68],而在探讨大脑功能和个体发散性思维水平关系上,不仅采用基于兴趣种子点内侧前额叶的全脑功能连接方法^[69],也采用动脉标记法关注了静息状态下大脑血流量和智力以及创造性的关系^[70,71]。

基于以上创造性的神经机制研究,主要是探讨

创造性能力或是发散性思维的神经机制研究,而没有探讨创造性认知过程或认知成分的个体差异的神经机制,将来的研究应该着重从认知过程或认知成分探讨个体差异的神经机制。基于大样本影像数据,从个体差异角度研究高级认知能力(创造性)的神经机制,能够极大地改善我们对创造性神经基础的认识,但是对创造性认知过程的探讨依然还存在局限。下一步研究应该考虑综合创造性相关的问卷和任务测试,采用探索性或验证性因子分析,寻找创造性认知过程中的潜在变量,然后寻求潜在变量与大脑结构或功能的关联,这也将有助于我们对创造性认知过程脑机制更深入、全面的了解。

5 总结与展望

大脑结构和功能的个体差异与行为、认知、情绪关系密切,以往研究也证实了行为、认知与情感都具有特定的大脑结构和功能上的个体差异性,因此探讨个体认知或情绪障碍的发生原因还应该考虑个体在生物学、心理和所处环境上的特定差异。尽管近期的研究通过大样本多模态脑影像数据,探讨了个体的人格特质、情绪、应激压力与大脑结构和功能的关系,发现个体的边缘系统(如海马、杏仁核、前扣带皮层)和前额叶(如背外侧前额叶、腹外侧前额叶)的特定区域的灰质体积不仅能够有效预测个体的人格特点(神经质和外向性等),而且也能够预测情绪和压力水平(焦虑反应、知觉压力、生活事件等),同时还可以预测个体所受到的社会支持程度以及领悟社会支持的能力。但是,个体认知和情绪反应的发生及变化,是多因素共同影响的结果。虽然通过研究可以找到部分情绪障碍发生的早期风险因子,可是个体本身的人格特点以及复原力等因素也能保护个体并阻碍情感障碍的发生。因此,孤立地考查各个变量与大脑结构或功能的关系,可能会影响对行为与大脑真实关系的理解,所以将来的研究应该整合各类相关因素,采用建模的方式系统探讨“基因-人格特质-环境因素(生活事件,家庭环境等)-大脑(结构和功能)-情绪障碍”的相应机理,能够有效地帮助我们探索情绪障碍发生的个体差异的相关神经机制,为未来的干预和治疗提供建议和参考。

随着大样本数据库的建立,统计方法的使用也是值得我们思考的。首先,所采用的实验技术和计算方法要能揭示个体心理行为对应的大脑结构和功能

的关联。其次,要探讨大脑结构和功能特征是否可以预测个体的行为或者心理健康程度,从而更好地为临床症状的出现提供早期的影像证据;同时大样本数据库的建立,也能够为以后的纵向跟踪研究提供较好的基础,且跟踪研究个体在认知、情感和社会性上的差异和变化,可以帮助研究者更好地理解认知、情感与大脑结构和功能之间可能具有的因果关系。值得指出的是,神经影像学的数据分析同样还存在着很大的挑战,主要体现在两个方面:一个是各种模态数据的采集,且每一种模态所代表的生理意义是不同的;另外一个模态数据本身的时空分辨率的特点。认知神经科学研究本质上具有跨学科的特征,数据的分析与计算方法起着关键的作用,有效的方法能够帮助我们改进对信息的提取方式并提供客观、可靠的量化的统计证据。因此怎样利用多样的统计方法进行数据挖掘和深入分析显得至关重要。首先,最近的临床研究通过对患者的脑影像数据分析,采用分类和预测的方法^[72,73]对患者进行分类或寻找有效的生理标示,这也为我们进一步分析和挖掘大样本脑影像数据提供了重要参考,比如把传统的单变量分析和多变量模式分析相结合^[65]。其次,以往研究主要是控制额外变量而孤立考察单个变量相关的生理或者神经机制,未来的研究也可尝试使用神经脑影像数据,结合个体的心理行为数据(人格、认知能力等)以及个体生活环境因素的各类指标,在基于机器学习的原理基础上,进一步预测个体的将来行为、情绪反应^[51]或者对个体行为类型进行分类。再次,就像Bowman^[74]指出的一样,多模态影像数据的整合比单个模态分析更精确和可靠,更能拓展我们对数据信息的挖掘以及对结果更深入的理解,因此,在数据分析上可以尝试把多个模态结合在一起,比如大脑任务态下的功能激活、静息态下的功能连接、局部大脑区域的密度或者体积、局部弥散属性、区域之间的结构连接以及神经元活动的电生理信号等,尽管各种模态指标反应的生理意义有所不同,但是可以相互验证、补充和支撑。最后,针对大样本的个体开展纵向跟踪研究,可以提供有效的证据进行数据的可重复性和预测模型的验证,也可以结合不同磁共振中心的类似数据,进行数据结果的可重复性验证。

虽然大样本脑影像数据分析、挖掘以及多种模态融合上还存在一些问题,但大样本影像和行为数据

的收集, 已经成为心理学和认知神经科学研究发展的一个趋势. 通过大样本脑影像和行为数据的收集, 不仅能获得个体稳定的人格特质变量, 而且实时获得个体成长过程中环境变量和情绪状态变量, 然后综合各个因素, 通过大数据揭示大脑和行为活动的规律, 预测个体行为活动模式和情感状态. 大样本数

据的收集, 特别是国内各个脑成像中心数据库站点的合作, 有利于建立我国从儿童到成人年龄跨度的正常人的心理与神经常模, 从行为和神经角度发现个体毕生发展的关键期, 并能够探测异常的行为和发育轨迹, 对行为、神经以及精神障碍的发病提供预警.

参考文献

- 1 Kanai R, Rees G. The structural basis of inter-individual differences in human behaviour and cognition. *Nat Rev Neurosci*, 2011, 12: 231–242
- 2 Zilles K, Amunts K. Individual variability is not noise. *Trends Cogn Sci*, 2013, 17: 153–155
- 3 Frost M A, Goebel R. Measuring structural-functional correspondence: Spatial variability of specialised brain regions after macro-anatomical alignment. *NeuroImage*, 2012, 59: 1369–1381
- 4 Sugiura M, Friston K J, Willmes K, et al. Analysis of intersubject variability in activation: An application to the incidental episodic retrieval during recognition test. *Hum Brain Mapp*, 2007, 28: 49–58
- 5 Mueller S, Wang D H, Fox M D, et al. Individual variability in functional connectivity architecture of the human brain. *Neuron*, 2013, 77: 586–595
- 6 Lenroot R K, Schmitt J E, Ordaz S J, et al. Differences in genetic and environmental influences on the human cerebral cortex associated with development during childhood and adolescence. *Hum Brain Mapp*, 2009, 30: 163–174
- 7 Giedd J N, Rapoport J L. Structural MRI of pediatric brain development: What have we learned and where are we going? *Neuron*, 2010, 67: 728–734
- 8 Raz N, Lindenberger U, Rodrigue K M, et al. Regional brain changes in aging healthy adults: General trends, individual differences and modifiers. *Cereb Cortex*, 2005, 15: 1676–1689
- 9 Paus T, Keshavan M, Giedd J N. Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nat Rev Neurosci*, 2008, 12: 947–957
- 10 Paus T. Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends Cogn Sci*, 2005, 2: 60–68
- 11 Shaw P, Sharp W, Morrison M, et al. Psychostimulant treatment and the developing cortex in attention deficit hyperactivity disorder. *Am J Psychiatry*, 2009, 166: 58–63
- 12 Castellanos F X, Tannock R. Neuroscience of attention-deficit/hyperactivity disorder: The search for endophenotypes. *Nat Rev Neurosci*, 2002, 3: 617–628
- 13 Hafner H, Riecher A, Maurer K, et al. How does gender influence age at first hospitalization for schizophrenia? A transnational case register study. *Psychol Med*, 1989, 19: 903–918
- 14 Rapoport J L, Addington A M, Frangou S, et al. The neurodevelopmental model of schizophrenia. *Mol Psychiatry*, 2005, 10: 434–449
- 15 Zuo X N, Kelly C, Di Martino A, et al. Growing together and growing apart: regional and sex difference in the lifespan developmental trajectories of functional homotopy. *J Neurosci*, 2010, 30: 15034–15043
- 16 Dosenbach N U F, Nardos B, Cohen A L, et al. Prediction of individual brain maturity using fMRI. *Science*, 2010, 329: 1358–1361
- 17 Cao M, Wang J H, Dai Z J, et al. Topological organization of the human brain functional connectome across the lifespan. *Dev Cogn Neurosci*, 2014, 7: 76–93
- 18 Honey C J, Sporns O, Cammoun L, et al. Predicting human resting-state functional connectivity from structural connectivity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 2035–2040
- 19 Byrge L, Sporns O, Smith L B. Developmental process emerges from extended brain-body-behavior networks. *Trends Cogn Sci*, 2014, 18: 395–403
- 20 Gu J, Kanai R. What contributes to individual differences in brain structure? *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 262–268
- 21 Kühn S, Gleich T, Lorenz R C, et al. Playing Super Mario induces structural brain plasticity: Gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Mol Psychiatry*, 2014, 19: 265–271
- 22 Lövdén M, Wenger, Elisabeth M, et al. Structural brain plasticity in adult learning and development. *Neurosci Biobehav Rev*, 2013, 37: 2296–2310
- 23 Sehm B, Taubert M, Conde V, et al. Structural brain plasticity in Parkinson's disease induced by balance training. *Neurobiol Aging*, 2014, 35: 232–239

- 24 Sampaio-Baptista C, Khrapitchev A A, Foxley S, et al. Motor skill learning induces changes in white matter microstructure and myelination. *J Neurosci*, 2013, 33: 19499–19503
- 25 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
- 26 Raichle M E. Two views of brain function. *Trends Cogn Sci*, 2010, 14: 180–190
- 27 Smith S M, Fox P T, Miller K L, et al. Correspondence of the brain's functional architecture during activation and rest. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 13040–13045
- 28 Deng Z, Wei D T, Xue S, et al. Regional grey matter density associated with emotional conflict resolution: Evidence from voxel based morphometry. *Neuroscience*, 275: 500–507
- 29 Wang Y, Wei D T, Li W F, et al. Individual differences in brain structure and resting-state functional connectivity associated with Type A behavior pattern. *Neuroscience*, 2014, 272: 217–228
- 30 Sun J Z, Li H J, Li W F, et al. Regional gray matter volume is associated with rejection sensitivity: A voxel-based morphometry study. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2014, 14: 1077–1085
- 31 Che X W, Wei D T, Li W F, et al. The correlation between gray matter volume and perceived social support: A voxel-based morphometry study. *Soc Neurosci*, 2014, 9: 152–159
- 32 Che X W, Zhao J Z, Wei D T, et al. Synchronous activation within the default mode network correlates with perceived social support. *Neuropsychologia*, 2014, 63: 26–33
- 33 Li W F, Li X T, Huang L J, et al. Brain structure links trait creativity to openness to experience. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2014, nsu041
- 34 Wei D T, Yang J Y, Li W F, et al. Increased resting functional connectivity of the medial prefrontal cortex in creativity by means of cognitive stimulation. *Cortex*, 2014, 51: 92–102
- 35 Yang W J, Liu P D, Wei D T, et al. Females and males rely on different cortical regions in raven's matrices reasoning capacity: Evidence from a voxel-based morphometry study. *PLoS One*, 2014, 9: e93104
- 36 Baldassarre A, Lewis C M, Comitteri G, et al. Individual variability in functional connectivity predicts performance of a perceptual task. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012, 109: 3516–3521
- 37 Hayashi M J, Kantele M, Walsh V, et al. Dissociable neuroanatomical correlates of subsecond and suprasedond time perception. *J Cogn Neurosci*, 2014, 26: 1685–1693
- 38 Matthews G, Deary L. *Personality Traits*. Cambridge: Cambridge University Press. 1998
- 39 Bouchard T J, McGue M, et al. Genetic and environmental influences on human psychological differences. *J Neurobiol*, 2003, 54: 4–45
- 40 Riemann R, Angleitner A, Strelau J. Genetic and environmental influences on personality: A study of twins reared together using the self- and peer report NEO-FFI scales. *J Personality*, 1997, 65: 449–475
- 41 DeYoung C G, Hirsh J B, Shane M S, et al. Testing predictions from personality neuroscience brain structure and the big five. *Psychol Sci*, 2010, 21: 820–828
- 42 Bjørnebekk A, Fjell A M, Walhovd K B, et al. Neuronal correlates of the five factor model (FFM) of human personality: Multimodal imaging in a large healthy sample. *NeuroImage*, 2013, 65: 194–208
- 43 Lu F M, Huo Y J, Li M L, et al. Relationship between personality and gray matter volume in healthy young adults: A voxel-based morphometric study. *PLoS One*, 2014, 9: e88763
- 44 Lei X M, Chen C S, Xue F, et al. Fiber connectivity between the striatum and cortical and subcortical regions is associated with temperaments in Chinese males. *NeuroImage*, 2014, 89: 226–234
- 45 Adelstein J S, Shehzad Z, Mennes M, et al. Personality is reflected in the brain's intrinsic functional architecture. *PLoS One*, 2011, 6: e27633
- 46 Wei L Q, Duan X J, Zheng C Y, et al. Specific frequency bands of amplitude low-frequency oscillation encodes personality. *Hum Brain Mapp*, 2014, 35: 331–339
- 47 Servaas M N, Riese H, Renken R J, et al. The effect of criticism on function brain connectivity and associations with neuroticism. *PLoS One*, 2013, 8: e69606
- 48 Servaas M N, Linda G, Remco J R, et al. Connectomics and neuroticism: An altered functional network organization. *Neuropsychopharmacology*, 2015, 40: 296–304
- 49 Ebstein R P. The molecular genetic architecture of human personality: Beyond self-report questionnaires. *Mol Psychiatry*, 2006, 11: 427–445
- 50 Herbst J H, Zonderman A B, McCrae R R, et al. Do the dimensions of the temperament and character inventory map a simple genetic architecture? Evidence from molecular genetics and factor analysis. *A J Psychiatry*, 2000, 157: 1285

- 51 Whelan R, Watts R, Orr CA, et al. Neuropsychosocial profiles of current and future adolescent alcohol misusers. *Nature*, 2014, 512: 185–189
- 52 van Harmelen A L, van Tol M J, van der Wee N J, et al. Reduced medial prefrontal cortex volume in adults reporting childhood emotional maltreatment. *Biol Psychiatry*, 2010, 68: 832–838
- 53 Hanson J L, Chung M K, Avants B B, et al. Early stress is associated with alterations in the orbitofrontal cortex: A tensor-based morphometry investigation of brain structure and behavioral risk. *J Neurosci*, 2010, 30: 7466–7472
- 54 Ansell E B, Rando K, Tuit K, et al. Cumulative adversity and smaller gray matter volume in medial prefrontal, anterior cingulate, and insula regions. *Biol Psychiatry*, 2012, 72: 57–64
- 55 Wei D T, Du X, Li W F, et al. Regional gray matter volume and anxiety-related traits interact to predict somatic complaints in a non-clinical sample. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2015, 10: 122–128
- 56 Song Y Y, Lu H H, Hu S Y, et al. Regulating emotion to improve physical health through the amygdala. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2014, nsu083
- 57 Li H J, Li W F, Wei D T, et al. Examining brain structures associated with perceived stress in a large sample of young adults via voxel-based morphometry. *NeuroImage*, 2014, 92: 1–7
- 58 Qin S Z, Young C B, Duan X J, et al. Amygdala subregional structure and intrinsic functional connectivity predicts individual differences in anxiety during early childhood. *Biol Psychiatry*, 2013, 75: 892–900
- 59 Li H J, Sun J Z, Zhang Q L, et al. Neuroanatomical differences between men and women in help-seeking coping strategy. *Sci Rep*, 2014, 4: 5700
- 60 Krause F, Lindemann O, Toni I, et al. Different brains process numbers differently: Structural bases of individual differences in spatial and nonspatial number representations. *J Cogn Neurosci*, 2014, 26: 768–776
- 61 Banissy M J, Kanai R, Walsh V, et al. Inter-individual differences in empathy are reflected in human brain structure. *NeuroImage*, 2012, 62: 2034–2039
- 62 Lai M C, Lombardo M V, Chakrabarti B, et al. Individual differences in brain structure underpin empathizing-systemizing cognitive styles in male adults. *NeuroImage*, 2012, 61: 1347–1354
- 63 Emerson N M, Zeidan F, Lobanov O V, et al. Pain sensitivity is inversely related to regional grey matter density in the brain. *Pain*, 2014, 155: 566–573
- 64 Soto D, Rotshtein P, Kanai R. Parietal structure and function explain human variation in working memory biases of visual attention. *NeuroImage*, 2014, 89: 289–296
- 65 He Q H, Xue G, Chen C S, et al. Decoding the neuroanatomical basis of reading ability: A multivoxel morphometric study. *J Neurosci*, 2013, 33: 12835–12843
- 66 Aichelburg C, Urbanski M, de Schotten M T, et al. Morphometry of left frontal and temporal poles predicts analogical reasoning abilities. *Cereb Cortex*, 2014, bhu254
- 67 Chen Q L, Yang W J, Li W F, et al. Association of creative achievement with cognitive flexibility by a combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity study. *NeuroImage*, 2014, 12: 474–483
- 68 Takeuchi H, Taki Y, Hashizume H, et al. Failing to deactivate: The association between brain activity during a working memory task and creativity. *NeuroImage*, 2011, 55: 681–687
- 69 Takeuchi H, Taki Y, Hashizume H, et al. The association between resting functional connectivity and creativity. *Cereb Cortex*, 2012, 22: 2921–2929
- 70 Takeuchi H, Taki Y, Hashizume H, et al. Cerebral blood flow during rest associates with general intelligence and creativity. *PLoS One*, 2011, 6: e25532
- 71 Takeuchi H, Taki Y, Hashizume H, et al. Effects of training of processing speed on neural systems. *J Neurosci*, 2011, 31: 12139–12148
- 72 Li F, Huang X Q, Tang W J, et al. Multivariate pattern analysis of DTI reveals differential white matter in individuals with obsessive-compulsive disorder. *Hum Brain Mapp*, 2014, 35: 2643–2651
- 73 Liu F, Guo W B, Fouche J P, et al. Multivariate classification of social anxiety disorder using whole brain functional connectivity. *Brain Struct Func*, 2015, 220: 101–115
- 74 Bowman F, Du B. Brain imaging analysis. *Annu Rev Stat Appl*, 2014, 1: 61–85

Application of big neuroimaging data from individual differences in psychological research

WEI DongTao^{1,2,3}, MENG Jie^{1,2}, LI YaDan^{1,2}, ZHANG QingLin^{1,2} & QIU Jiang^{1,2}

¹ School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

² The Ministry of Education Key Laboratory of Cognition and Personality, Southwest University, Chongqing 400715, China;

³ Post-doctoral Station of Mathematics, Southwest University, Chongqing 400715, China

Psychological research frequently uses cognitive neuroscience technologies to reveal the brain mechanisms underlying the psychological structure of personality, cognition, and emotion. However, previous research has often been constrained by small samples and other features of the experimental design and data analysis. Additionally, individual differences in behavioral responses and cognitive or emotional processing have often been considered confounding factors or random error, so they are usually controlled in data analysis. Human activity is the result of interactions between genes, environment, and the brain. Therefore, the investigation of environmental factors and individual life experiences, the collection of large samples of behavior, and the use of multimodal brain imaging data measuring cognition, emotion, and personality can help to address several questions from an individual differences perspective: (1) the neural basis of personality; (2) the brain mechanisms of emotion; (3) the brain mechanisms of cognition; (4) the construction of a model to predict interactions between the environment, personality, the brain, and behavior. This article summarizes recent domestic and international studies on the relationship between brain imaging and behavior within a large sample, and it is a good way to understand the neural basis of behavior, personality, emotions, and cognitive ability from the perspective of individual differences.

individual differences, personality, emotion, cognition, big sample, multimodal neuroimaging

doi: 10.1360/N972014-00902