社会经济地位对大脑结构与功能的影响

吕子旻¹, 彭凯平¹, 胡传鹏^{2*}

1. 清华大学心理学系, 北京 100084;

2. Deutsches Resilienz Zentrum (DRZ), Mainz 55131, Germany

* 联系人, E-mail: hcp4715@hotmail.com

2019-03-09 收稿, 2019-04-29 修回, 2019-04-30 接受, 2019-06-28 网络版发表

摘要 社会经济地位(socioeconomic status, SES)与大脑结构和功能的关系对于理解社会经济因素对心理行为的影响以及预防大脑和心理疾病具有重要意义. 在过去十多年中, 研究者使用认知神经科学的方法对SES与大脑的关系进行了探索, 发现SES与大脑结构和功能之间可能存在相关性, 但这些研究的结果却不完全一致. 本文从大脑结构与功能两个层次出发, 按照认知与情绪两大主题对SES与大脑关系的认知神经科学研究进行回顾, 在此基础上对比不同研究结果的异同之处. 结果发现: (1) 在脑结构上, SES水平与海马体(主要负责记忆)、前额叶(参与执行功能等高级认知过程)及皮层下结构(主要包括参与情绪加工的杏仁核等结构)可能存在相关; (2) 在脑功能上, 不同SES水平的个体在进行执行功能、学习和记忆等相关任务时, 大脑活动模式可能存在差异, 同时正性与负性情绪刺激所引发的大脑活动在不同SES水平的个体上可能有所差异. 值得注意的是, SES与大脑关系的研究中还面临着诸多挑战, 如SES测量的复杂性和全面性、大脑结构与功能自身发展和测量的复杂性、SES影响大脑机制的多层次性等. 未来的研究需要应对上述的挑战, 同时考虑文化差异等影响, 从而能够更准确地理解SES与大脑的关系, 并为中国社会治理政策提供指导.

关键词 社会经济地位, 大脑结构, 大脑功能, 认知能力, 情绪加工, 可重复性

作为社会动物, 人们的心理、行为和精神健康不仅受到生物学因素的影响, 也受到社会因素的影响^[1,2]. 社会经济地位(socioeconomic status, SES)是个人物质与非物质资源及其在社会中位置的综合反映^[3], 对个体以及社会有着重要的影响^[4-6]. 大脑作为人类心理与行为的基础, 是外界环境对个体的心理与行为产生影响的生物学基础. 例如, 精神疾病很大程度上是大脑功能的失调^[7]. 且大脑具有结构和功能上的可塑性, 行为和经历是刺激大脑可塑性的关键因素^[8]. 因此, 理解SES与大脑的关系, 不仅对于科学探索有重要意义, 而且对于个体与社会的发展也具有现实的指导意义. 近年来, 研究者们采用认知神经科学的方法, 对SES与

大脑结构和功能的关系进行了许多探索性的工作.

但是, 对SES与大脑结构和功能关系的研究, 尚需要进行系统地回顾与评估. 一方面, SES是一个复杂的概念, 其测量存在诸多的争议^[9]; 另一方面, 认知神经科学近年来对其自身的研究方法与结果出现了不少反思^[10]. 加之SES与大脑结构和功能关系的研究结论可能为社会实践提供指导^[9], 具有重要的实践意义. 因此, 评估SES水平与大脑结构和功能关系的研究结论是否一致和稳定显得十分必要. 立足于此, 本文从大脑结构与功能两方面出发, 按照认知与情绪两大主题对SES与大脑关系的认知神经科学研究进行回顾, 在此基础上对比了不同研究结果的异同之处.

引用格式: 吕子旻, 彭凯平, 胡传鹏. 社会经济地位对大脑结构与功能的影响. 科学通报, 2019, 64: 2114–2126

Lyu Z Y, Peng K P, Hu C P. Socioeconomic status and brain structure and functions: A critical review (in Chinese). Chin Sci Bull, 2019, 64: 2114–2126, doi: [10.1360/N972018-01104](https://doi.org/10.1360/N972018-01104)

由于测量SES水平、大脑结构和大脑功能均比较复杂,在回顾SES与大脑结构和功能关系之前,本文首先简单介绍当前研究中如何测量SES水平及大脑结构和功能。SES是个人物质与非物质资源及其在社会中位置的综合反映,在研究社会心理学及社会学研究中,与社会阶层(social class)混同使用^[2]。心理学研究中,通常将SES分为主观与客观SES两种测量。测量主观SES通常会让受试者根据某一参考群体,想象自己或者自己家庭在该群体中的相对位置。例如,给他们视觉呈现一个十级的阶梯,让他们想象这个阶梯代表的是全社会从低到高的社会阶层,并判断自己在哪一层^[11]。客观SES的测量则包括对个人和家庭与社会、经济、教育和政治等资源相关的客观指标。其中最常测量的客观指标是家庭收入(如家庭人均年收入、收入-需求比)、父母受教育程度、父母职业和个人收入、个人受教育程度和职业。但值得注意的是,这些测量主要是来自受试者的自我报告,因此可能存在一定的偏差。也有一些研究者采用非自我报告的方式,例如,研究青少年时,以他们是否接受政府提供的减价或者免费午餐作为是否属于低SES水平的指标。从理论角度讲,应该测量所有反映个体SES的指标,从而得到个体在全社会中的相对位置。但在实际研究中,研究者受限于其资源(收集数据的资金、人员和时间等),很少能够进行全面测量,其中使用较多的是与收入相关的指标及父母和本人受教育水平。

脑成像(brain mapping; 或者称为神经成像, neuroimaging)是研究SES与大脑关系的主要手段。无损脑成像技术,尤其是磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)技术的发展,使得研究者能够对健康人群的大脑结构和功能进行精细成像。脑结构成像技术主要包括T1结构磁共振成像(structural MRI, sMRI)和弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)。其中sMRI具有相对清晰的灰白质对比,主要用于灰质结构的测量,同时可以反映一些白质的属性;而DTI则主要用于白质微结构的测量以及白质纤维连接的刻画^[12]。在SES与大脑结构关系的研究中,大部分研究者关注大脑灰质,包括灰质体积(gray matter volume)、皮层厚度(cortical thickness)和皮层的面积(surface area) 3个指标。这3个指标测量了脑结构的不同方面:一般灰质体积测量的是某个脑区灰质的总量,与该脑区皮层厚度和皮层面积的乘积成正相关;而皮层的厚度与皮层面积是相对独立的两个指标,它们具有不同的发育规律和基因基

础^[13]。先前研究表明,这些指标可能存在较大的个体差异,且与人格特点^[14]、行为表现^[14,15]以及精神疾病^[16]存在广泛相关。在脑功能成像方面,研究者可以采用基于血氧依赖水平(blood-oxygen-level dependent imaging, BOLD)的功能性磁共振(functional MRI, fMRI)^[17]对大脑进行认知任务时的活动进行测量。一般认为BOLD信号能够反映大脑局部脑区的神经活动,与大脑局部场电位(local field potentials)相关^[18]。这个特点使得fMRI在脑功能相关研究领域被广泛应用。

1 社会经济地位与大脑结构

在过去的十多年里,不少研究者分析了SES指标与大脑整体结构或者某些特定脑区结构之间的相关,初步发现不同SES背景的个体在脑结构上可能存在差异^[19,20]。以下将从认知与情绪两大主要的功能系统来回顾当前研究。其中,认知加工(包括知觉、注意、学习、记忆、语言和推理等)主要涉及额叶、顶叶和颞叶等大脑皮层,而海马在学习和记忆中起到尤其关键的作用;情绪加工的脑区则主要包括杏仁核、腹内侧前额叶、腹侧纹状区等^[21]。

1.1 SES与认知相关大脑的结构

在主要参与认知加工的大脑结构中,研究者较多地报告了海马(hippocampus)和额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)与SES的相关性。海马在人类的记忆中起到重要的作用^[22],且容易受到压力的影响^[23]。由于不同SES背景的个体面临的压力存在差异,因此海马是SES与大脑关系中关键的脑区之一。在儿童^[24-27]和成人^[28-30]样本中,均有观察到童年期的家庭经济收入状况(少量研究采用多项社会经济指标综合衡量)与海马体积呈正相关。这些研究似乎表明,SES水平越低,海马的灰质体积越小。但是这一结论也不乏争议,因为另一些研究者并未发现这种相关性^[26,31-33]。例如,Yu等人^[26]以主观社会经济地位、家庭收入、父母教育和收入需求比作为测量SES的指标,探索了SES水平与海马灰质体积之间的关系,发现SES与在8~12岁样本群体的海马体积有正相关,但这种相关性在18~25岁的受试者群体上消失。

前额叶是另一个主要负责认知加工的脑区,参与了许多人类的高级认知活动,包括冲突解决^[34]、道德判断^[35,36]、自我信息加工^[37]等。有研究报告了两者的相关性,例如,McDermott等人^[38]对于儿童长达20年的跟踪研究发现,父母职业和受教育程度与前额叶腹侧

的表面积稳定相关。Holz等人^[39]以前额叶前部的眶额叶皮层(orbital frontal cortex, OFC)为感兴趣区(region of interest), 计算了家庭收入与前额叶体积之间的相关, 发现收入与前额叶体积之间存在相关。相似的是, Krishnadas等人^[40]以额下回(inferior frontal gyrus, IFG)为感兴趣区, 使用本人的收入、教育和职业为SES指标, 发现SES与右侧前额叶厚度的正相关关系。Kong等人^[41]对大学生样本群体的研究则发现, 母亲的教育与中前额叶的灰质体积相关。Raizada等人^[42]以婚姻状况、工作状态、教育和职业声望作为SES指标, 分析了SES水平与前额叶灰质体积的关系, 则在仅发现左侧前额叶灰质体积与SES水平有边缘显著的正相关。同时, 也有研究未发现SES与前额叶结构的相关, 包括对眶额叶灰质体积^[43]、左侧额下回^[44]与SES的相关分析中, 均有阴性结果报告。因此, 虽然有研究报告SES与前额叶结构之间存在相关, 但这种关系却并未得到一致的支持。

1.2 SES与情绪相关大脑的结构

负责情绪加工的脑区则主要是大脑边缘系统(limbic system), 包括杏仁核(amygdala)和前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)等结构。从目前的研究来看, SES水平可能与这些脑区的结构存在相关。对1099个儿童和青少年的大脑结构进行分析的结果表明脑岛(insula)、颞极(temporal pole)、前扣带回和后扣带回(posterior cingulate)等皮层面积与父母收入相关^[45]。杏仁核的结果则更加复杂, 在以成年人为受试者的研究中报告了是否经历过经济困难情境(例如因为缺钱典当东西或卖东西等)和就业状况、教育程度及是否为低技能职业等指标综合而成的SES与杏仁核体积存在正相关^[28]。以儿童为受试者的研究中也报告了杏仁核体积与家庭收入需求比存在正相关^[46]。但也有两项以青少年儿童为受试者的研究未发现杏仁核体积与收入和父母受教育程度之间的相关性^[27,33]。由于所用的SES的测量指标均不完全一致, 难以对这些研究的结果直接进行比较。与之相关的是, 对儿童期逆境(包括虐待、贫穷等)与杏仁核关系的元分析未发现儿童期逆境与杏仁核体积之间的相关^[47], 而大样本的大脑结构分析也未发现杏仁核与父母收入之间的相关^[45], 这些研究表明SES与杏仁核之间的相关需要进一步检验。

除了针对特定脑区的研究外, 还有研究者分析了成年人大脑整体结构与SES之间的关系, 发现皮层体

积、表面积和皮层厚度可能与收入、教育和职业成正相关^[48]。在青少年中家庭收入与皮层体积和皮层厚度的相关性也存在, 但与表面积不相关。而白质体积和完整性与儿童和青少年的家庭收入与父母受教育程度^[49]以及中年人的收入、教育和社区SES、老年人的职业和本人受教育程度^[50]相关。

从以上结果来看, 虽然有不少研究探索SES与大脑结构之间的关系, 但是这些结果之间缺乏一致性和系统性。在方法上, 测量大脑结构的指标不一致, 皮质表面面积、皮质厚度或体积等多种指标被用于与SES进行相关分析, 这些指标本身代表了不同生理意义。加之SES测量的指标本身也不尽相同, 因此不同研究之间的差异很难进行合理解释。同时, 研究者往往依赖感兴趣区分析, 但是感兴趣区的定义却差异较大。有的研究使用沟与回来定义, 有的使用Brodman分区, 还有使用“背侧”、“内侧”或整个额叶作为一个感兴趣区。这种一致性的缺乏, 可能会带来假阳性结果^[14]。

2 社会经济地位与大脑功能的关系

除了寻找SES在大脑结构上的差异外, 研究者也探索了不同SES水平与大脑活动的关系。利用事件相关电位(event related potential, ERP)和fMRI等无损神经成像技术, 研究者发现, SES可能与执行功能、记忆能力和学习技能等认知任务存在相关, 也可能对情绪加工有影响。

2.1 SES与执行功能的关系

执行功能(executive function)指的是个体需要集中注意力去关注某物时需要的一系列自上而下的心理过程, 主要包含抑制控制、工作记忆和认知灵活性三种能力^[51,52]。目前的研究表明, 执行功能的神经基础可能主要是执行控制网络(executive control network), 包括背外侧前额叶皮层和后顶叶皮层等。对不同家庭收入、收入需求比、教育、职业和主观社会经济地位背景儿童的ERP研究发现, 虽然参与者在从图形刺激中辨别特定目标的反应时和正确率以及阅读任务中对故事的理解没有显著区别, 但是在前额区域的脑电活动上却存在显著的差异^[53,54]。功能性核磁共振成像的研究也发现了类似的结果^[55]。例如, Sheridan等人^[56]以家庭收入、父母受教育程度和父母主观社会经济地位为SES的指标, 比较了高低SES儿童在刺激-反应联结学习任务(stimulus-response mapping task)中大脑活动的差异, 发现在额中回(middle frontal gyrus)、额下回(infer-

ior frontal gyrus)和前扣带皮层等脑区的活动强度较低,但在右侧额叶沟活动强度更高。以上结果可能说明,不同SES的儿童虽然在执行功能任务上的表现相似,但是脑机制上可能有区别。

对工作记忆的研究也发现了类似的模式。例如, Finn等人^[57]结合N-Back任务(比较当前呈现的刺激与往前第N个刺激是否相同,是一种常用的工作记忆任务)和fMRI,发现高收入家庭的儿童在该工作记忆任务中表现好于低收入家庭的儿童,同时家庭收入水平在工作记忆负荷与大脑活动强度的关系中起调节作用:当工作记忆负荷较大时,SES较高的儿童的前额叶和顶叶区域活动强度比SES较低的儿童更高;而在工作记忆负荷较低条件下,低SES的儿童在上述脑区活动强度比高SES更高。这种结果可能说明低SES儿童负责工作记忆的脑区在高负荷时无法完成任务,因此活动降低,而在负荷低时,也需要较强的活动才能完成任务,总体而言可能反映了SES对于工作记忆能力有影响。

2.2 SES与学习和记忆的关系

除了执行功能外,也有大量研究探索了SES对学习及记忆的影响。关于SES如何影响学习相关的大脑功能,过往的研究主要集中在数学和语言的学习上。例如, Finn等人^[57]以家庭收入为SES的指标,研究了SES对儿童数学考试成绩与工作记忆能力的关系。他们的结果表明,顶叶皮层中工作记忆相关区域的大脑活动与所有儿童的数学成绩均正相关,但前额叶皮层的活动只与SES较高的儿童的数学成绩正相关,这表明来自不同SES背景家庭儿童的数学能力的脑机制可能存在差异。Demir等人^[58]以父母受教育程度为SES的指标,研究了高低SES儿童对减法结果进行判断时的神经活动,结果表明在SES高的儿童中,反应时和正确率与左中颞回等区域的活动更相关,数学能力的提升与左额下回等区域的活动增加更相关,这些区域在语言加工中有重要作用;而在SES较低儿童中,数学能力与右顶内沟(right intraparietal sulcus)等区域更密切相关,数学能力的提升与右顶叶等区域相关性更高,顶内沟等区域与空间处理有关。作者们认为,该结果反映了SES会影响儿童的语言能力,而语言能力上的差异可能是减法能力差异的基础。这些研究显示,不同SES背景的儿童在进行数学学习时的大脑活动机制可能存在差异,但具体的机制仍然需要进一步的研究。

除了数学能力之外,SES还会影响读写能力和其他

语言技能相关的大脑活动。例如,在语音的加工上,不同SES儿童神经专业化不同^[42,59]。Noble等人^[59]招募了不同SES背景(以家庭收入需求比、父母教育和职业地位为综合的SES指标)的儿童进行fMRI实验,扫描期间受试者需要完成语音加工综合测试(comprehensive test of phonological processing, CTOPP)中的两个任务:混合词(blending words)和略读(elision),前者是将单独听到几个声音组合成为单词,后者按要求略去单词中某个字母的读音(如略去“bold”中的b,正确的读音是“old”)。以这两个任务上的表现作为儿童语音技能的指标。他们的结果表明,不同SES的儿童在这两个语音任务上的表现没有区别,但他们在完成语音任务时在左侧梭状语言区的激活程度有差异:低SES儿童的语音表现与该脑区的激活呈正相关,而高SES儿童的语音表现与该脑区活动程度的相关较低。这可能说明,高SES儿童具有更高的读写知识和能力,他们可以通过这些能力来完成语音任务,而低SES儿童则必须通过语音处理的脑区(即左侧梭状区)进行主意编码。其他研究还发现,父母受教育程度调节以上述两项任务的表现和左前半脑区的激活程度之间的关系^[60]。但也有研究发现SES与某些语言相关的能力无关。例如, Monzalvo等人^[61]给不同SES背景(以儿童家庭所就读的学校、父母的教育水平和家里是否讲双语为指标)的儿童呈现视觉刺激(房子、面孔、单词和棋盘等)和语言刺激(母语和外语的语句)并记录了他们的大脑活动,发现SES背景不同的儿童在脑区活动上并无显著差异。

SES对记忆神经机制的影响则尚无一致的结论。受教育程度和职业地位更高的老年人在以威斯康星卡片分类测验(wisconsin card sorting test, WCST)中错误更少,即对新近记忆的判断(与前额叶皮层有关)更准确,ERP数据表明他们的额叶活动强度更高^[62]。但以成年人为受试者的研究发现童年期贫困(以童年期家庭的收入需求比来衡量)对于他们在图片记忆和再识别任务中的再认表现并没有影响,在再认过程中童年期贫穷对海马体活动有边缘显著影响^[63]。这种影响在控制成年后SES共变之后,变得更加显著:非童年期贫困的受试者中,再认准确率和海马区的激活程度之间呈正相关,而童年期贫困的受试者身上,再认准确率与海马区活动程度的关系则是负相关,作者认为这可能反映了童年期家庭收入高的儿童能够有效激活海马区提升记忆任务表现,而童年期的贫困使得儿童虽然能激活海马区,但却是无效激活并不能提升任务表现。另一

项对儿童的研究发现,在配对连接学习任务(paired associate learning task)中,虽然高和低SES的儿童在任务表现上无显著区别,但脑区激活程度却有差异,海马的激活程度仅与母亲的主观社会地位有关,而与受试者在任务中的表现、母亲教育和收入需求比均不相关^[64]。以上两项研究都表明,家庭SES可能会影响记忆的神经活动。但总的来说,关于SES影响记忆的神经机制目前还并不是非常明确,可能受到发展阶段的影响。

2.3 SES与情绪的关系

情绪加工也是SES影响大脑功能的重要方面。目前研究发现,低SES的个体可能对消极情绪更加敏感。例如,以主观社会经济地位较低的青少年^[65,66]或者有童年期贫困(以收入-需求比作为指标)的成人^[67]为受试者,给他们呈现威胁或恐惧的面孔时,他们的杏仁核和内侧前额叶的活动比高SES受试者更强。相似的是,给不同SES(以收入-需求比为指标)背景的母亲呈现婴儿的哭泣声时,低SES母亲在内侧额叶出现了更强的神经活动。低SES母亲在看到婴儿消极表情时,杏仁核的反应也更强,但看到婴儿积极表情时,杏仁核反应则更弱^[68]。这表明,低SES的母亲对消极情绪的反应更加敏感也更加强烈,这可能是因为在育儿期间面临着更大的压力^[68]。

在情绪信息的加工中,不同脑区之间的功能连接起到重要作用。例如,前额叶在情绪调节中有重要的作用,能够降低杏仁核的活动。但这一效应在不同SES群体中的表现有所差异:童年期家庭收入较低的个体进行认知重评(cognitive reappraisal)来调节情绪时,前额叶激活程度更低,同时通过情绪调节带来的杏仁核激活降低程度也较少^[69],说明童年期贫困的个体在情绪调节的神经机制上可能发展相对不足。在对低收入家庭儿童的静息态fMRI的研究中发现,他们的杏仁核和海马体与右上额叶皮层等皮层区的功能连接较低^[70],可能进一步说明低SES个体有着较弱的皮层-皮层下结构的连接,进而可能会影响他们的情绪信息处理。研究者以家庭收入和父母教育为SES指标,发现这种趋势在6个月大的婴儿上便出现^[71],说明SES对个人情绪加工的影响在人生早期已经出现。总之,这些研究表明,低SES的人群可能在情绪调节的神经机制方面与高SES的人群存在较大的差异,这与低SES人群更多受到精神类疾病困扰的现象一致。

此外,不同SES的人对奖赏信息的加工也不相同。

以父母受教育程度、本人受教育程度和收入作为SES指标,低SES成年人在金钱奖励的决策任务中,由奖赏刺激所引起的额叶、前扣带回(ACC)和纹状体区域活动强度较低,而损失引起皮层和皮层下结构的活动更强^[72]。这可能说明,低SES个体对奖赏不敏感而对损失却非常敏感。这一结果与行为经济学研究中低SES个体的决策偏好相关:低SES的人更偏好当下的收益和更低的风险^[73],这种决策的模式容易让他们陷入贫困陷阱(poverty trap),难以走出经济上的困境。

总之,最近的研究表明,SES可能与大脑认知和情绪加工的神经活动均有关系。不少认知的研究中,研究者仅观测到了神经活动上的差异,却无行为结果上差异。行为结果上差异的缺乏,使得大脑活动模式的差异变得难以解释,因为通过大脑活动的结果来逆推个体的心理与认知活动仍然非常困难。而在情绪加工中,低SES个体的情绪处理可能表现出对负性刺激较为敏感、情绪调节相对困难的特点。不过与大脑结构研究相似,SES与大脑功能的许多研究结果也依赖于感兴趣区分析,而感兴趣区的定义也可能存在差异,因此对这些结果也需要慎重对待。

3 挑战与展望

通过对已经发表文献的回顾可以看到,不少研究者对SES与大脑关系进行了探索。但是研究结果之间仍缺乏一致性,这些不一致阻碍了对当前研究结果的整合。深入分析关于SES与大脑的已有研究,可以看到研究者主要采用传统心理学和认知神经科学的研究思路来探索SES与大脑的关系,忽略了SES所涉及的复杂性和多层的问题。例如,研究者往往试图通过简单地相关或者回归分析来探索某一SES指标与某一大脑指标之间的关系,得到统计上显著的相关之后,往往在结论时将结果解读为SES水平或贫穷与大脑的关系,忽略了许多未测量的SES变量的潜在影响。同时,许多关于SES与大脑关系的早期研究,与认知神经科学的早期研究有着同样的问题,包括小样本、方法上的灵活性等^[10]。当前对SES与大脑之间关系的研究所面临的挑战,可以归纳为SES测量的复杂性和全面性、大脑发育的动态性与测量和分析方法的一致性以及SES影响大脑机制的多层次性。

3.1 SES测量的复杂性和全面性

正如我们已经指出,SES是非常复杂的社会现象

(图1), 其测量手段多样化. 上述回顾的文章也证实了这一现象: 不同的研究之间使用的SES缺乏一致性. 这种不一致带来的后果是, 无论不同研究的结果是否一致, 均难以对结果进行综合与解读. 具体而言, SES两个方面的特点可能会导致当前不一致的结果难以解释: 一是准确测量SES的多样性; 二是SES范围的全面性.

第一, SES测量的多样性一定程度上阻碍了研究结果之间的可比性. 目前研究使用较多的是收入及相关的指标, 但以这一指标作为SES测量的研究中也存在不同. 一些研究使用收入-需求比, 使用家庭收入与当地当年基本生活开支的比例^[46,56], 另一些研究则使用人均收入作为指标^[48], 还有研究者直接使用收入^[27]. 此外, 对父母教育水平这一指标的使用, 也存在差异: 有的研究者使用父母双方的平均受教育水平^[58], 有的研究者使用父母双方的最高受教育水平, 有的使用主要照顾者的受教育水平等. 同一SES方面的具体测量方式如何影响着最终的结果, 目前也无法估计. SES测量的多样性另一个方面是使用不同的SES指标之间是否具有可比性的问题. 例如: 使用收入相关指标的研究, 与使用父母受教育水平的研究之间如何比较. 有研究指出, SES对个体(尤其是儿童)的影响, 更多可能与父母的行为直接相关, 而父母的行为与受教育水平密切相关. 例如, Elliott等人^[74]对已有研究进行回顾后发现, 父母受教育水平可能比收入对低龄儿童的数学成绩影响更大, 尤其是父母对数学的看法、支持程度以及在有关数学的语言使用上, 可能对儿童的数学成绩有着直接的影响. 与这个结论相似的是, Noble等人^[45]发现, 左侧海马与父母的受教育水平存在相关, 但是与家庭收入无显

著相关. 但也有不少研究发现, 家庭收入与海马之间存在统计上显著的相关^[27,75]. 因此, 我们无法得知经济收入是否与个体的大脑结构(如海马)之间存在相关; 如果存在相关, 那么又引出这种相关性是否完全由其他中间变量所中介的问题. 从这个角度来讲, 尽可能多地测量多种SES指标及其相关的变量, 将有利于研究者清晰地探索各个指标之间以及它们与大脑结构与功能之间的复杂关系.

第二, 要清晰定位研究对象在整个社会SES中所处的位置. 目前这个问题较少受到研究者关注. 不少关于SES的研究均以贫困个体为研究对象, 但同时又未严格地定义贫困^[76]的标准, 不少研究中的受试者群体并非是绝对意义上的贫困. 在这种情况下, 我们无法区分SES与大脑的关系是仅在贫困下出现, 还是与SES水平呈现出梯度变化的关系. 如果SES与大脑结构和功能的关系仅在贫困时出现, 那么只有当个体的SES低于一定的阈值时, 他们的大脑结构与功能才偏离“正常”. 但如果SES水平与大脑指标相关是梯度效应, 那么整个人群中, 大脑结构与功能在各个不同的SES水平群体中均存在差异. 厘清这种关系对未来的干预具有重要意义: (1) 如果SES对大脑的消极作用仅在贫困下出现, 则干预时应关注于“扶贫”; (2) 如果SES与大脑的关注是梯度效应, 则需要对社会全体成员均提供支持, 对最受影响的贫困群体的支持力度最大. 目前的研究可能更支持后一种可能性: 在儿童中, SES对于大脑表面积^[25]和大脑容量^[77]的影响是一种全SES范围的梯度效应, 且在较低的一端影响更大. 但是未来需要更多的研究对这两种可能模式进行验证. 因此, 扩大参与者SES的范围, 获

图1 SES的概念分层及测量

Figure 1 The conceptual stratification and measurement of SES

取对社会各个SES水平具有代表性的样本,对于解决阈值效应与梯度效应之间的争议具有重要意义。

3.2 大脑结构与功能的复杂性

SES与人脑的复杂关系,也要考虑人脑的复杂性。这种复杂性主要表现为两个方面:一是时间上的动态性:从出生、成长到成熟和衰老,人脑结构与功能有其动态变化的规律,这一规律本身仍然有许多未知的问题^[78,79];二是当前测量手段的多样性,这种多样性也可能带来不同研究之间的差异以及较低的可重复率。

研究表明,在生命历程中SES与大脑的关系是不断变化的,即SES可能在不同阶段对人脑有着不同的影响。从这个角度来讲,不同的研究如果使用了不同年龄段的样本,那么其研究结果的不一致正说明了大脑发展动态的重要性。例如,对婴幼儿的研究表明,SES相关的大脑差异在刚出生时尚不显著^[80],但在4~6周时的生命早期就已出现^[81],随后差异持续存在^[71,82],且某些差异逐渐增加^[75]。对儿童和青少年的研究也支持随着年龄增长,不同SES背景带来的大脑结构与功能上的差异可能会逐渐增加,且SES会影响大脑发展的模式。例如, Piccolo等人^[83]研究了1148名儿童和青少年(年龄为3~20岁)的大脑皮层发展轨迹,发现在SES较低的参与者中,大脑皮层的厚度在儿童早期和中期阶段下降得更快,而在青少年阶段下降速度减缓,直至趋于稳定。而在SES较高的参与者中,皮层厚度呈线性下降趋势且持续时间更长。结合动物早期的逆境和早熟的大脑发育研究^[84],已有研究表明,SES可能会影响儿童和青少年时期大脑功能和结构发展的模式。要解决这些SES与大脑关系随着年龄变化的动态性问题,需要进行大规模的追踪研究,而这是先前研究中所缺乏的。目前,已有不少脑结构与功能的研究开始采用追踪研究的方式,如彩巢计划^[85],此类大规模追踪研究,可能将对理解SES与大脑发展的动态关系起到关键作用。

脑结构与功能测量手段的多样性将进一步加剧比较不同研究结果的难度。比如,基于fMRI的研究包含大量的数据预处理和分析操作,其中每个一步操作都涉及多种可能的参数和方法选择,而不同的参数及方法都可能会带来结果上的差异,同时,参数及方法选择的灵活性也可能带来更多的假阳性结果^[86]。此外,不同研究中感兴趣区的选取不尽相同,导致研究结果之间缺乏可比性。不同测量指标侧重于反映脑结构与脑功能的不同方面,采用不同的指标可以使研究在都更加全

面地认识感兴趣问题的同时,也一定程度上导致不同研究结果之间难以进行直接比较。类似的,研究设计的多样性和样本大小也可能带来较大的误差,这些问题可能会影响研究者统计推论的质量(如低统计检验力^[87]),从而影响结果的可信程度^[10,88,89]。大脑测量的复杂性问题,是认知神经科学领域面临的重大问题,也是目前整个学术共同体试图去解决的问题。例如,研究者可采用元分析(meta-analysis)方法来对过去同质的研究进行量化总结^[90]。考虑到神经成像研究的成本较高,研究者也可采用多中心合作的模式^[91,92],联合多个团队的数据,克服小样本的问题。更重要的是,未来的研究需要注意标准化的问题^[93]。例如研究前对包括计划样本容量、分析工具、感兴趣区的定义方法、分析指标和预测结果等信息在内的方法和分析计划在开放平台(如, open science framework)上进行预注册;对于所有探索分析的细节进行充分和完整地报告,避免选择性报告;完整报告结果,包括阴性结果;公开研究中的数据^[94],方便后续研究进行分析与比较。采用这些透明开放的研究实践,将有助于减少大脑测量方法多样性带来的不确定性,增强研究结果的可重复性^[95,96],促进科学知识的积累。

3.3 SES影响大脑机制的多层次性

即使能较标准化和全面地测量SES及大脑的指标,探索SES与大脑结构和功能之间关系仍然存在一个难点:SES是影响大脑的远端原因(distal causes),其必须通过其他更加微观的近端原因(proximal cause)对大脑产生影响(图2)。不同的SES(如个人、家庭、社区和国家)影响大脑与行为的路径可能不同,需要研究者去分析SES对个体影响的可能路径。例如,家庭SES中包括父母的受教育水平、父母的职业和家庭收入。其中家庭收入可能会影响到儿童与青少年的营养和生理健康进而影响到大脑的发育;父母的职业和受教育程度不同,亲子关系以及家庭中的语言人认知刺激也会不同(如前述的低SES母亲对婴儿哭泣的神经反应与高SES的母亲不同^[68]),这些家庭因素会影响到大脑的可塑性;家庭SES水平不同,面临的压力水平也不相同,低收入群体通过面临着更大的压力^[97]。这些假设的路径均需要通过实证研究进行检验。这些假设的路径可以借鉴动物研究的发现进一步具体化。例如,动物研究发现,在发育期或成年期的压力会导致啮齿动物和非人类灵长类动物的大脑发生大量的细胞和分子变化,这

图 2 SES通过近端因素影响大脑的简化模型。SES因素通过一个或多个近端因素影响大脑的结构和功能。大脑图像的绿色区域为前额叶皮层,黄色区域为前扣带回,蓝色区域为腹侧纹状体,红色区域为杏仁核,橙色区域为海马体。这五个脑区为报告较多的易受SES影响的脑区

Figure 2 The simplified model of how SES affects the brain through proximal factors. SES factors can affect structures and functions of the brain through one or more proximal factors. The green area of the brain is the prefrontal cortex, the yellow area is the anterior cingulate gyrus, the blue area is the ventral striatum, the red area is the amygdala, and the orange area is the hippocampus. These five brain regions are the most frequently reported regions that are likely to be affected by SES

些变化在海马体和额叶中最常见^[98]。养育行为受到诸如压力^[99,100]之类的环境影响,而养育行为能够减少后代所经历的压力的影响^[101]。动物研究的结果,可以为人类研究提供线索和先验假设,然后进一步使用认知神经科学的手段去检验这些假设^[102,103]。

除了家庭SES之外,目前较少有研究者探索社区和国家的SES对个体的影响,但是这种关系却可能存在。社区SES会影响到个人的成长环境,包括自然环境与人文环境。低SES社区居住条件可能更差,绿化程度更低,噪音和毒素更多,这些均可能对个体的大脑产生影响。而在人文环境方面,低SES社区可能面临着更多的暴力事件、更少的语言刺激等。例如,丹麦的研究者发现,

与农村居民相比,城市居民更有可能得精神分裂症^[104],这表明了居住环境的影响。关于国家SES层面对大脑影响的研究则更少。但有不少关于生理健康的研究表明,发达国家的居民比发展中国家的居民有着更好的健康水平^[105]。相似的是,不同国家的社会经济环境可能通过社区SES、家庭SES等更微观层次的SES因素对大脑产生作用。

总之,SES对个人的影响存在着多层次的特点,未来的研究中,需要整合多个层次的因素,将各种SES对个人影响路径能够进行更多地探索与检验,从而寻求更好的办法,避免低SES带来的不利影响。

在过去的30年,中国社会快速地发展,无数个体的SES发生了巨大的变化。这种变化可能给个人心理和生活带来巨大的变化,也为社会心态的塑造带来了深远的影响。因此,研究SES与人脑的关系非常重要且具有高度挑战性。未来的研究也可以从心理韧性视角^[106]出发,采用复杂动力系统的新方法^[107],来探索SES与人脑的互动。同时,将认知神经科学与社会学、行为经济学等其他学科的研究整合起来,提供对人类心理、行为和大脑更加完整的认识。这些研究对当前中国社会具有尤其重要的意义,可以为缓解人民在追求美好生活的一些突出矛盾提供指导。例如,为更有针对性地解决贫困人口和留守儿童的充分发展、精神健康问题^[6,108,109]和犯罪等问题提供指导。同时,在中国社会研究SES与大脑的关系时,也应该考虑跨文化的比较^[110],中国传统文化可能会影响例如公平、正义观念等社会认知,从而影响SES与大脑的关系。因此,未来研究需要重视文化的差异对于研究结论的影响,并审慎思考研究结论对于中国社会现实的指导意义。在方法上,未来的研究需要“去伪存真”,重视可重复性和科学性,才能为理论发展和政策制定提供坚实的科学基础^[111],为扶贫干预项目提供精确、科学和有效的指导,从而促进社会公平的实现。

参考文献

- 1 Lund C, Brooke-Sumner C, Baingana F, et al. Social determinants of mental disorders and the sustainable development goals: A systematic review of reviews. *Lancet Psychiatry*, 2018, 5: 357–369
- 2 Hu X Y, Yang S L, Zhong Q, et al. The relationship between social class and health: Their “social-psychological -physiological” mechanism (in Chinese). *Sci Bull*, 2019, 64: 194–205 [胡小勇, 杨沈龙, 钟琪, 等. 社会阶层与健康的关系: “社会-心理-生理”机制. *科学通报*, 2019, 64: 194–205]
- 3 Bradley R H, Corwyn R F. Socioeconomic status and child development. *Annu Rev Psychol*, 2002, 53: 371–399
- 4 Adler N E, Stewart J. Health disparities across the lifespan: Meaning, methods, and mechanisms. *Ann NY Acad Sci*, 2010, 1186: 5–23
- 5 von Stumm S, Plomin R. Socioeconomic status and the growth of intelligence from infancy through adolescence. *Intelligence*, 2015, 48: 30–36

- 6 Lund C, Breen A, Flisher A J, et al. Poverty and common mental disorders in low and middle income countries: A systematic review. *Soc Sci Med*, 2010, 71: 517–528
- 7 Insel T R, Cuthbert B N. Brain disorders? Precisely. *Science*, 2015, 348: 499–500
- 8 Kolb B, Whishaw I Q. Brain plasticity and behavior. *Annu Rev Psychol*, 1998, 49: 43–64
- 9 Braveman P A, Cubbin C, Egerter S, et al. Socioeconomic status in health research. *JAMA*, 2005, 294: 2879–2888
- 10 Poldrack R A, Baker C I, Durnez J, et al. Scanning the horizon: Towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nat Rev Neurosci*, 2017, 18: 115–126
- 11 Adler N E, Epel E S, Castellazzo G, et al. Relationship of subjective and objective social status with psychological and physiological functioning: Preliminary data in healthy, white women. *Health Psychol*, 2000, 19: 586–592
- 12 Liang X, Wang J, He Y. Human connectome: Structural and functional brain networks(in Chinese). *Sci Bull*, 2010, 55: 1565–1583[梁夏, 王金辉, 贺永. 人脑连接组研究: 脑结构网络和脑功能网络. 科学通报, 2010, 55: 1565–1583]
- 13 Winkler A M, Kochunov P, Blangero J, et al. Cortical thickness or grey matter volume? The importance of selecting the phenotype for imaging genetics studies. *NeuroImage*, 2010, 53: 1135–1146
- 14 Vul E, Harris C, Winkelman P, et al. Puzzlingly high correlations in fMRI studies of emotion, personality, and social cognition. *Perspect Psychol Sci*, 2009, 4: 274–290
- 15 Gonzalez-Castillo J, Bandettini P A. Task-based dynamic functional connectivity: Recent findings and open questions. *NeuroImage*, 2018, 180: 526–533
- 16 Ibanez A, Garcia A M, Esteves S, et al. Social neuroscience: Undoing the schism between neurology and psychiatry. *Soc Neurosci*, 2018, 13: 1–39
- 17 Poldrack R A. The new mind readers: What neuroimaging can and cannot reveal about our thoughts. Princeton, NJ USA: Princeton University Press, 2018
- 18 Logothetis N K, Pauls J, Augath M, et al. Neurophysiological investigation of the basis of the fmri signal. *Nature*, 2001, 412: 150–157
- 19 Blair C, Raver C C. Poverty, stress, and brain development: New directions for prevention and intervention. *Acad Pediatr*, 2016, 16: S30–S36
- 20 Brito N H, Noble K G. Socioeconomic status and structural brain development. *Front Neurosci*, 2014, 8: 276
- 21 Gazzaniga M S, Ivry R B, Mangun G R. Cognitive neuroscience: The biology of the mind, 4th ed. NY USA: W. W. Norton & Company, 2013
- 22 Deng W, Aimone J B, Gage F H. New neurons and new memories: How does adult hippocampal neurogenesis affect learning and memory? *Nat Rev Neurosci*, 2010, 11: 339
- 23 McEwen B S, Magarinos A M. Stress effects on morphology and function of the hippocampus. *Ann N Y Acad Sci*, 2010, 821: 271–284
- 24 Leonard J A, Mackey A P, Finn A S, et al. Differential effects of socioeconomic status on working and procedural memory systems. *Front Hum Neurosci*, 2015, 9: 554
- 25 Noble K G, Engelhardt L E, Brito N H, et al. Socioeconomic disparities in neurocognitive development in the first two years of life. *Dev Psychobiol*, 2015, 57: 535–551
- 26 Yu Q, Daugherty A M, Anderson D M, et al. Socioeconomic status and hippocampal volume in children and young adults. *Dev Sci*, 2018, 21: e12561
- 27 Hanson J L, Chandra A, Wolfe B L, et al. Association between income and the hippocampus. *PLoS One*, 2011, 6: e18712
- 28 Butterworth P, Cherbuin N, Sachdev P, et al. The association between financial hardship and amygdala and hippocampal volumes: Results from the path through life project. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2012, 7: 548–556
- 29 Janowitz D, Schwahn C, Borchardt U, et al. Genetic, psychosocial and clinical factors associated with hippocampal volume in the general population. *Transl Psychiatry*, 2014, 4: e465
- 30 Staff R T, Murray A D, Ahearn T S, et al. Childhood socioeconomic status and adult brain size: Childhood socioeconomic status influences adult hippocampal size. *Ann Neurol*, 2012, 71: 653–660
- 31 Liu Y, Julkunen V, Paajanen T, et al. Education increases reserve against Alzheimer's disease—Evidence from structural MRI analysis. *Neuroradiology*, 2012, 54: 929–938
- 32 Wang Y, Zhang L, Kong X, et al. Pathway to neural resilience: Self-esteem buffers against deleterious effects of poverty on the hippocampus. *Hum Brain Mapp*, 2016, 37: 3757–3766
- 33 Yang J, Liu H, Wei D, et al. Regional gray matter volume mediates the relationship between family socioeconomic status and depression-related trait in a young healthy sample. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2016, 16: 51–62
- 34 Jonides J, Badre D, Curtis C, et al. Mechanisms of conflict resolution in prefrontal cortex. In: Stuss D, Knight R, eds. Principles of Frontal Lobe Function. Oxford: Oxford University Press, 2002. 233–245
- 35 Hu C, Jiang X. An emotion regulation role of ventromedial prefrontal cortex in moral judgment. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 873
- 36 Koenigs M, Young L, Adolphs R, et al. Damage to the prefrontal cortex increases utilitarian moral judgements. *Nature*, 2007, 446: 908–911
- 37 Qin P, Northoff G. How is our self related to midline regions and the default-mode network? *NeuroImage*, 2011, 57: 1221–1233

- 38 McDermott C L, Seidlitz J, Nadig A, et al. Longitudinally mapping childhood socioeconomic status associations with cortical and subcortical morphology. *J Neurosci*, 2019, 39: 1365–1373
- 39 Holz N E, Boecker R, Hohm E, et al. The long-term impact of early life poverty on orbitofrontal cortex volume in adulthood: Results from a prospective study over 25 years. *Neuropsychopharmacology*, 2015, 40: 996–1004
- 40 Krishnadas R, McLean J, Batty G D, et al. Socioeconomic deprivation and cortical morphology. *Psychosomatic Med*, 2013, 75: 616–623
- 41 Kong F, Chen Z, Xue S, et al. Mother's but not father's education predicts general fluid intelligence in emerging adulthood: Behavioral and neuroanatomical evidence. *Hum Brain Mapp*, 2015, 36: 4582–4591
- 42 Raizada R D S, Richards T L, Meltzoff A, et al. Socioeconomic status predicts hemispheric specialisation of the left inferior frontal gyrus in young children. *NeuroImage*, 2008, 40: 1392–1401
- 43 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
- 44 Noble K G, Houston S M, Kan E, et al. Neural correlates of socioeconomic status in the developing human brain. *Dev Sci*, 2012, 15: 516–527
- 45 Noble K G, Houston S M, Brito N H, et al. Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. *Nat Neurosci*, 2015, 18: 773–778
- 46 Luby J, Belden A, Botteron K, et al. The effects of poverty on childhood brain development. *JAMA Pediatr*, 2013, 167: 1135–1142
- 47 Calem M, Bromis K, McGuire P, et al. Meta-analysis of associations between childhood adversity and hippocampus and amygdala volume in non-clinical and general population samples. *NeuroImage Clin*, 2017, 14: 471–479
- 48 Gianaros P J, Kuan D C H, Marsland A L, et al. Community socioeconomic disadvantage in midlife relates to cortical morphology via neuroendocrine and cardiometabolic pathways. *Cereb Cortex*, 2017, 27: 460–473
- 49 Ursache A, Noble K G. Socioeconomic status, white matter, and executive function in children. *Brain Behav*, 2016, 6: e00531
- 50 Johnson N F, Kim C, Gold B T. Socioeconomic status is positively correlated with frontal white matter integrity in aging. *Age*, 2013, 35: 2045–2056
- 51 Banich M T. Executive function. *Curr Dir Psychol Sci*, 2009, 18: 89–94
- 52 Diamond A. Executive functions. *Annu Rev Psychol*, 2013, 64: 135–168
- 53 Kishiyama M M, Boyce W T, Jimenez A M, et al. Socioeconomic disparities affect prefrontal function in children. *J Cogn Neurosci*, 2009, 21: 1106–1115
- 54 Stevens C, Lauinger B, Neville H. Differences in the neural mechanisms of selective attention in children from different socioeconomic backgrounds: An event-related brain potential study. *Dev Sci*, 2009, 12: 634–646
- 55 Wang S, Kong F, Zhou M, et al. Brain structure linking delay discounting and academic performance. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38: 3917–3926
- 56 Sheridan M A, Sarsour K, Jutte D, et al. The impact of social disparity on prefrontal function in childhood. *PLoS One*, 2012, 7: e35744
- 57 Finn A S, Minas J E, Leonard J A, et al. Functional brain organization of working memory in adolescents varies in relation to family income and academic achievement. *Dev Sci*, 2017, 20: e12450
- 58 Demir Ö E, Prado J, Booth J R. Parental socioeconomic status and the neural basis of arithmetic: Differential relations to verbal and visuo-spatial representations. *Dev Sci*, 2015, 18: 799–814
- 59 Noble K G, Wolmetz M E, Ochs L G, et al. Brain?behavior relationships in reading acquisition are modulated by socioeconomic factors. *Dev Sci*, 2006, 9: 642–654
- 60 Conant L L, Liebenenthal E, Desai A, et al. The relationship between maternal education and the neural substrates of phoneme perception in children: Interactions between socioeconomic status and proficiency level. *Brain Lang*, 2017, 171: 14–22
- 61 Monzalvo K, Fluss J, Billard C, et al. Cortical networks for vision and language in dyslexic and normal children of variable socio-economic status. *NeuroImage*, 2012, 61: 258–274
- 62 Czernochowski D, Fabiani M, Friedman D. Use it or lose it? Ses mitigates age-related decline in a recency/recognition task. *Neurobiol Aging*, 2008, 29: 945–958
- 63 Duval E R, Garfinkel S N, Swain J E, et al. Childhood poverty is associated with altered hippocampal function and visuospatial memory in adulthood. *Dev Cogn Neurosci*, 2017, 23: 39–44
- 64 Sheridan M A, How J, Araujo M, et al. What are the links between maternal social status, hippocampal function, and hpa axis function in children? *Dev Sci*, 2013, 16: 665–675
- 65 Gianaros P J, Horenstein J A, Hariri A R, et al. Potential neural embedding of parental social standing. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2008, 3: 91–96
- 66 Muscatell K A, Morelli S A, Falk E B, et al. Social status modulates neural activity in the mentalizing network. *NeuroImage*, 2012, 60: 1771–1777
- 67 Javanbakht A, King A P, Evans G W, et al. Childhood poverty predicts adult amygdala and frontal activity and connectivity in response to emotional faces. *Front Behav Neurosci*, 2015, 9: 154
- 68 Kim P, Capistrano C G, Erhart A, et al. Socioeconomic disadvantage, neural responses to infant emotions, and emotional availability among first-

- time new mothers. *Behav Brain Res*, 2017, 325: 188–196
- 69 Kim P, Evans G W, Angstadt M, et al. Effects of childhood poverty and chronic stress on emotion regulatory brain function in adulthood. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110: 18442–18447
 - 70 Barch D, Pagliaccio D, Belden A, et al. Effect of hippocampal and amygdala connectivity on the relationship between preschool poverty and school-age depression. *Am J Psychiatry*, 2016, 173: 625–634
 - 71 Gao W, Alcauter S, Elton A, et al. Functional network development during the first year: Relative sequence and socioeconomic correlations. *Cereb Cortex*, 2015, 25: 2919–2928
 - 72 Gianaros P J, Manuck S B, Sheu L K, et al. Parental education predicts corticostriatal functionality in adulthood. *Cereb Cortex*, 2011, 21: 896–910
 - 73 Haushofer J, Fehr E. On the psychology of poverty. *Science*, 2014, 344: 862–867
 - 74 Elliott L, Bachman H J. SES disparities in early math abilities: The contributions of parents' math cognitions, practices to support math, and math talk. *Dev Rev*, 2018, 49: 1–15
 - 75 Hanson J L, Hair N, Shen D G, et al. Family poverty affects the rate of human infant brain growth. *PLoS One*, 2013, 8: e80954
 - 76 Henrich J, Heine S J, Norenzayan A. The weirdest people in the world? *Behav Brain Sci*, 2010, 33: 61–83
 - 77 Hair N L, Hanson J L, Wolfe B L, et al. Association of child poverty, brain development, and academic achievement. *JAMA Pediatr*, 2015, 169: 822–829
 - 78 Toga A W, Thompson P M, Sowell E R. Mapping brain maturation. *Trends Neurosci*, 2006, 29: 148–159
 - 79 Zuo X N, He Y, Betzel R F, et al. Human connectomics across the life span. *Trends Cogn Sci*, 2016, 21: 32–45
 - 80 Brito N H, Fifer W P, Myers M M, et al. Associations among family socioeconomic status, eeg power at birth, and cognitive skills during infancy. *Dev Cogn Neurosci*, 2016, 19: 144–151
 - 81 Betancourt L M, Brodsky N L, Hurt H. Socioeconomic (SES) differences in language are evident in female infants at 7 months of age. *Early Human Dev*, 2015, 91: 719–724
 - 82 Tomalski P, Moore D G, Ribeiro H, et al. Socioeconomic status and functional brain development-associations in early infancy. *Dev Sci*, 2013, 16: 676–687
 - 83 Piccolo L R, Merz E C, He X, et al. Age-related differences in cortical thickness vary by socioeconomic status. *PLoS One*, 2016, 11: e0162511
 - 84 Bath K G, Manzano-Nieves G, Goodwill H. Early life stress accelerates behavioral and neural maturation of the hippocampus in male mice. *Horm Behav*, 2016, 82: 64–71
 - 85 Yang N, He Y, Zhang Z, et al. Chinese color nest project: Growing up in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2017, 62: 3008–3022 [杨宁, 何叶, 张喆, 等. 彩巢计划——“成长在中国”. 科学通报, 2017, 62: 3008–3022]
 - 86 Carp J. On the plurality of (methodological) worlds: Estimating the analytic flexibility of fMRI experiments. *Front Neurosci*, 2012, 6: 149
 - 87 Ioannidis J P A, Munafò M R, Fusar-Poli P, et al. Publication and other reporting biases in cognitive sciences: Detection, prevalence, and prevention. *Trends Cogn Sci*, 2014, 18: 235–241
 - 88 Zuo X N, Xing X X. Test-retest reliabilities of resting-state fmri measurements in human brain functional connectomics: A systems neuroscience perspective. *Neurosci Biobehav Rev*, 2014, 45: 100–118
 - 89 Zuo X N, Anderson J S, Bellec P, et al. An open science resource for establishing reliability and reproducibility in functional connectomics. *Sci Data*, 2014, 1: 140049
 - 90 Hu C, Di X, Li J, et al. Meta-analysis of Neuroimaging Studies (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2015, 23: 1118–1129 [胡传鹏, 邸新, 李佳蔚, 等. 神经成像数据的元分析. 心理科学进展, 2015, 23: 1118–1129]
 - 91 Hu C P, Yin J X, Lindenberg S, et al. Data from the Human Penguin Project, a cross-national dataset testing social thermoregulation principles. *Sci Data*, 2019, 6: 32
 - 92 Kong K-Z. Mult-site collaboration approaches to replicable research in the psychological and brain sciences(in Chinese). *Psychol Techn Appl*, 2019, 7: 297–304 [孔祥祯. 多中心合作与可重复的心理与脑科学研究. 心理技术与应用, 2019, 7: 297–304]
 - 93 Nichols T E, Das S, Eickhoff S B, et al. Best practices in data analysis and sharing in neuroimaging using MRI. *Nat Neurosci*, 2017, 20: 299–303
 - 94 Milham M P, Craddock R C, Son J J, et al. Assessment of the impact of shared brain imaging data on the scientific literature. *Nat Commun*, 2018, 9: 2818
 - 95 Hu C, Wang F, Guo J, et al. The replication crisis in psychological research (in Chinese). *Adv Psychol Sci*, 2016, 24: 1504–1518 [胡传鹏, 王非, 过继成思, 等. 心理学研究中的可重复性问题: 从危机到契机. 心理科学进展, 2016, 24: 1504–1518]
 - 96 Szucs D, Ioannidis J P. Empirical assessment of published effect sizes and power in the recent cognitive neuroscience and psychology literature. *PLoS Biol*, 2017, 15: e2000797
 - 97 Hanson J L, Nacewicz B M, Sutterer M J, et al. Behavioral problems after early life stress: Contributions of the hippocampus and amygdala. *Biol Psychiatry*, 2015, 77: 314–323
 - 98 McEwen B S, Gianaros P J. Central role of the brain in stress and adaptation: Links to socioeconomic status, health, and disease. *Ann N Y Acad*

- Sci, 2010, 1186: 190–222
- 99 Murgatroyd C A, Nephew B C. Effects of early life social stress on maternal behavior and neuroendocrinology. [Psychoneuroendocrinology](#), 2013, 38: 219–228
 - 100 Rosenblum L A, Paullly G S. The effects of varying environmental demands on maternal and infant behavior. *Child Dev*, 1984, 55: 305–314
 - 101 Francis D. Nongenomic transmission across generations of maternal behavior and stress responses in the rat. [Science](#), 1999, 286: 1155–1158
 - 102 Evans G W. The environment of childhood poverty. [Am Psychol](#), 2004, 59: 77–92
 - 103 Shonkoff J P, Boyce W T, McEwen B S. Neuroscience, molecular biology, and the childhood roots of health disparities. [JAMA](#), 2009, 301: 2252–2259
 - 104 Abbott A. City living marks the brain. [Nature](#), 2011, 474: 429
 - 105 Marmot M. The health gap: The challenge of an unequal world. [Lancet](#), 2015, 386: 2442–2444
 - 106 Kalisch R, Baker D G, Basten U, et al. The resilience framework as a strategy to combat stress-related disorders. [Nat Hum Behav](#), 2017, 1: 784–790
 - 107 Borsboom D, Cramer A, Kalis A. Brain disorders? Not really... why network structures block reductionism in psychopathology research. *Behav Brain Sci*, 2018, 24: 1–54
 - 108 Kessler R C, Berglund P, Demler O, et al. Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the national comorbidity survey replication. [Arch Gen Psychiatry](#), 2005, 62: 593–602
 - 109 Lorant V. Socioeconomic inequalities in depression: A meta-analysis. [Am J Epidemiol](#), 2003, 157: 98–112
 - 110 Miyamoto Y, Yoo J, Levine C S, et al. Culture and social hierarchy: Self- and other-oriented correlates of socioeconomic status across cultures. [J Pers Soc Psychol](#), 2018, 115: 427–445
 - 111 Farah M J. Socioeconomic status and the brain: Prospects for neuroscience-informed policy. [Nat Rev Neurosci](#), 2018, 19: 428–438

Summary for “社会经济地位对大脑结构与功能的影响”

Socioeconomic status and brain structure and functions: A critical review

Ziyang Lyu¹, Kaiping Peng¹ & Chuan-Peng Hu^{2*}

¹ Department of Psychology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

² Deutsches Resilienz Zentrum (DRZ), Mainz 55131, Germany

* Corresponding author, E-mail: hcp4715@hotmail.com

The socioeconomic status (SES) of individuals has an enormous impact on their mental health (e.g., cognitive function and emotional well-being). Given that the brain is the biological basis of cognition and emotion, understanding the relationship between SES and brain structure and function may help to alleviate the negative impact of SES on the mental health of individuals. Over the past two decades, cognitive neuroscientists have explored the relationship between SES and the brain using state-of-the-art brain imaging techniques, such as event-related potential (ERP) and (functional) magnetic resonance imaging (fMRI/MRI). While some studies have found that SES indices were related to brain structure and function, other studies have reported negative results. Therefore, it is crucial to evaluate the existing literature critically. The current paper reviewed studies that explored the relationship between SES and brain structure as well as those investigating the relationship between SES and brain function. For both lines of research, we organized studies around both cognition and emotion. Our review has the following findings. First, structural MRI studies suggest that SES level may be related to the hippocampus and frontal lobe, which are considered responsible for memory and executive function, and the amygdala, anterior cingulate cortex (ACC) and insular cortex, which are involved in emotional processing. Second, fMRI studies found that individuals (especially children) from different SES backgrounds had similar behavioral performances on cognitive tasks (e.g., executive function, memory, learning, mathematics, language, etc.) but their brain activities showed different patterns. fMRI studies also revealed that, compared to individuals from high SES backgrounds, individuals from low SES backgrounds may be more sensitive to negative emotions and have different neurobiological mechanisms of emotion regulation. These findings are consistent with the fact that people with low SES are more vulnerable to mental disorders. However, the field faces several challenges that might severely undermine the credibility of its findings: the complexity and flexibility of measuring SES, the complexity and flexibility of measuring brain structure and function, and the complexity of the possible paths by which SES can affect the brain. To overcome these challenges, we suggest that future studies should measure more SES indices, be transparent and open as to the brain data analyses, and consider the interaction between SES and brain development and the proximal factors through which SES interacts with the brain. Finally, researchers from different countries may also consider the relative SES among nations and adopt a multisite approach to study the relationship between SES and the brain. By deepening the understanding of the relationship between SES and the brain, cognitive neuroscience may contribute to creating a healthy and fair society.

socioeconomic status (SES), brain structure, brain function, cognition, emotion, reproducibility

doi: [10.1360/N972018-01104](https://doi.org/10.1360/N972018-01104)