

# 婴儿社会和情绪脑机制的早期发展

柳昀哲<sup>①</sup>, 张丹丹<sup>①\*</sup>, 罗跃嘉<sup>①②\*</sup>

① 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875;

② 成都医学院四川应用心理学研究中心, 成都 610500

\* 联系人, E-mail: zhangdd05@gmail.com; luoyj@bnu.edu.cn

2012-08-31 收稿, 2013-01-04 接受

国家自然科学基金重点项目(30930031)、国家自然科学基金重大研究计划培育项目(91132704)和国家重点基础研究发展计划(2011CB711000)资助

**摘要** 能够快速扫描并锁定周围环境中可能存在的危险刺激并给予优先反应对人类生存至关重要。大脑中可能存在功能特异性的神经网络模块加工此类刺激。行为研究表明, 该神经网络可能早在 1 岁前就开始形成和发展。近年随着认知神经科学研究技术的成熟, 研究者利用 EEG, fNIRS 和 fMRI 等方法, 直接研究社会和情绪脑机制的早期发展(0~1 岁)。本文从面孔表情、情绪性语音和早期社会交往 3 个方面系统总结了婴儿社会性和情绪发展的研究, 并描述了相应社会-情绪神经网络的发展进程。在此基础上, 采用经验-期待性机制和经验-依赖性机制讨论了早期社会经验对社会与情绪脑机制的影响, 认为社会-情绪的神经网络不是先天形成、独立于社会经验的加工模块。虽然在个体发展的早期阶段(0~3 个月), 社会和情绪脑的核心结构已经形成, 但出生后 5~7 个月, 经验-期待性机制将会重塑社会和情绪脑, 通过知觉窄化过程, 该神经网络开始功能特异化, 而只对特定的社会刺激敏感。在此期间的社会剥夺则会对社会-情绪神经网络的发展产生不可逆的影响。出生 7 个月以后, 该神经网络通过经验-依赖性机制的调节逐渐趋于完善, 并形成较稳定的个体差异。

## 关键词

婴儿  
社会和情绪脑  
经验-期待性机制  
经验-依赖性机制

对人类而言, 最具威胁的刺激往往是与社会环境紧密相关的, 如恐惧(暗示可能存在的危险)或愤怒(暗示潜在的攻击行为)的面孔<sup>[1]</sup>。大脑可能存在功能特异性的神经网络模块加工此类刺激。成人的大脑中已发现以杏仁核为核心的情绪加工网络<sup>[1]</sup>, 但这一神经网络产生、发展却很少受到关注, 该神经网络是先天形成还是后天产生也存在一定争议<sup>[2]</sup>。Vaish 等人<sup>[3]</sup>认为负责情绪加工的脑网络可能是先天形成的, 较少受后天经验的影响。而 Johnson<sup>[4]</sup>则强调虽然出生时某些负责情绪加工的神经机制已发育成熟, 但后天经验将会在更大程度上塑造和改变社会和情绪脑。

个体发展的早期阶段, 婴儿与抚养者的交流是其社会性发展的最主要途径<sup>[5]</sup>。在婴儿的前言语阶段

(0~1 岁), 他们与抚养者的交流只能通过“察言观色”进行。行为研究表明, 婴儿在出生后 5 个月即可区分不同情绪的语音, 7 个月后可辨别情绪面孔并表现出负性偏向<sup>[6]</sup>。因此, 与社会认知和情绪加工相关的神经网络可能早在 1 岁前就开始形成和发展<sup>[2]</sup>。近年来随着认知神经科学研究技术的发展, 研究者得以利用脑电(electroencephalography, EEG)、功能性近红外光学成像(functional near infrared spectroscopy, fNIRS)和功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)等方法, 直接研究社会和情绪脑机制的早期发展。本文将系统回顾婴儿社会性和情绪发展的认知神经科学研究, 并描述相应社会和情绪脑机制的发展进程。最后, 将进一步探讨早期社会经验

**引用格式:** 柳昀哲, 张丹丹, 罗跃嘉. 婴儿社会和情绪脑机制的早期发展. 科学通报, 2013, 58: 753-761

Liu Y Z, Zhang D D, Luo Y J. Early development of the social and emotional brain in infancy (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 753-761, doi: 10.1360/972012-1300

对该社会-情绪神经网络的影响,并尝试回答社会和情绪脑机制的起源问题(即是先天形成还是后天产生的争议).

## 1 社会和情绪脑机制的神经基础

早在1990年,Brothers<sup>[7]</sup>就率先提出“社会脑”的概念,社会脑主要负责加工面孔和语音信号,以及解码其中的情绪信息<sup>[8,9]</sup>.研究认为其神经基础主要涉及3个脑区,分别为杏仁核、眶额叶(orbitofrontal cortex)以及颞上回(superior temporal sulcus)<sup>[7-9]</sup>.

杏仁核在面孔识别的早期阶段激活(在刺激呈现后30 ms左右),负责编码面部表情的基本形态特征<sup>[10]</sup>,并通过对视觉表征区的直接反馈,促进梭状回和颞上回进一步加工面部表情的细节<sup>[11]</sup>.杏仁核在调节早期的情绪性行为中起着重要作用,其中最有力的证据是当杏仁核损伤后,新生猴因无法准确评估和处理社会刺激中的情绪信息而表现出异常的恐惧性行为<sup>[12]</sup>.

眶额叶与杏仁核以及其他广泛脑区如颞上回等有着丰富且直接的神经连接.它通过大细胞通路快速接收杏仁核的反馈信息,并自上而下地调节面孔细节的知觉加工<sup>[13]</sup>.已有研究表明,眶额叶对积极情绪线索敏感且在奖赏学习中扮演着重要角色<sup>[14]</sup>,是负责社会性依恋的主要脑区<sup>[15]</sup>.

颞上回特别是颞上回的前部,是加工情绪性语音最主要的激活脑区<sup>[16]</sup>.近年在恒河猴身上也发现了类似的特异性脑区<sup>[17]</sup>.该脑区独立于语言加工,被认为是进化形成的、专门负责社会交流中情绪信息识别和加工的脑区<sup>[18]</sup>.颞上回对负性情绪更加敏感,生后7个月的婴儿在听到愤怒语音时,颞上回的激活比听到快乐和中性语音时更明显<sup>[19,20]</sup>.颞上回的不同子区域可能负责不同刺激形态或背景的加工.如前所述,前颞上回主要负责语音知觉,而后颞上回则主要负责面孔、生物性运动和视听觉的整合<sup>[21]</sup>.颞上回在不同刺激背景下类似的激活模式,意味着它是跨形态的情绪加工脑区<sup>[22]</sup>.因此有学者认为颞上回作为情绪加工中的核心脑区,主要负责联合和加工感知觉系统中重要的社会信号<sup>[18,23]</sup>.

过去20年中,婴儿的社会和情绪脑机制的研究得到了广泛关注.通过总结正常和异常婴儿的发展研究,Johnson等人<sup>[24]</sup>认为社会和情绪脑机制的核心脑区在生后早期阶段(0~3个月)就已形成.其中,皮

层下结构杏仁核在出生时已发育成熟,并与其他脑区有广泛、直接的神经连接<sup>[2]</sup>.杏仁核主要负责个体对面孔的指向性注意,其在面孔识别、表情表达等认知过程中起核心作用<sup>[2,25]</sup>.杏仁核受损个体很难将注意集中在面孔的眼睛区域,导致其对面部情绪的识别困难<sup>[25]</sup>.在出生后2周内,杏仁核中阿片受体和5-羟色胺能纤维的密度和分布已与成人相似,并开始建立起与各个脑区的神经连接<sup>[26]</sup>.眶额叶和颞上回神经发育的具体时间虽不清楚,但其本身以及和其他多巴胺能系统间的神经连接在生后1周内已发展到和成人类似的程度<sup>[26]</sup>.尽管在个体发展的早期阶段(0~3个月),社会和情绪脑的核心成分已开始形成;但在生后的一段时间内,这些脑区在结构和功能上仍会发生显著的变化<sup>[27]</sup>.恒河猴的脑损伤性研究表明,虽然眶额叶和颞叶皮层神经反馈回路在生命早期已形成,但需到生后1年才发育成熟<sup>[26]</sup>.眶额叶、杏仁核的轴突在生后1个月开始髓鞘化,但仍需持续发展几年方能完全成熟<sup>[28]</sup>.因此,虽然社会和情绪脑机制的核心脑区在生命早期就已形成和发展,但它们之间和与其他脑区的连接模式仍会随着社会经验的丰富而不断完善.

## 2 婴儿的社会性与情绪发展

婴儿对面部表情和情绪性语音的解码能力是早期社会交流的基础,在社会互动中起着关键作用<sup>[5]</sup>.以往对婴儿的社会和情绪认知发展的研究主要集中在行为方面,也由此衍生了一系列经典的实验范式,如习惯化、优先注视等.习惯化范式是指先给婴儿重复呈现感觉刺激,待其适应后再呈现新异刺激并观察婴儿的行为表现,如眼动、转头、吮吸反射等<sup>[29]</sup>.该范式广泛用于评估婴儿特定认知能力的出现时间<sup>[30]</sup>.利用习惯化范式,研究者发现婴儿直到生后5个月才能区分不同情绪的语音,7个月后方能辨别情绪面孔<sup>[6]</sup>.这一结果并不令人惊讶,因为婴儿的听觉系统虽然在出生时已基本发育完全<sup>[30]</sup>,但负责语音加工的脑区却要在生后4~7月才能功能特异化<sup>[19,31]</sup>.而婴儿的视觉在出生时尚未发育成熟,视敏度欠佳,仅能区分明显的面部变化,如嘴的张或闭,无法辨别面部表情<sup>[32]</sup>.因此,婴儿很难在生后早期识别不同的情绪面孔和语音.但有趣的是,研究者发现婴儿在生后3个月左右即可利用同步呈现的面孔与语音刺激成功探测出情绪信息,这表明情绪辨别能

力的发展可能出现在面孔或语音加工的神经通路成熟之前<sup>[6]</sup>。

除了能辨别情绪之外, 婴儿还表现出对恐惧、愤怒等负性情绪的注意偏向<sup>[1]</sup>。比如, 当给婴儿呈现一对情绪面孔图片, 相对于快乐情绪面孔, 5~7 个月的婴儿对恐惧面孔给予更多的注视时间<sup>[33]</sup>; 与快乐情绪相比, 婴儿对负性情绪面孔的注意更难转移<sup>[34]</sup>。上述婴儿的社会和情绪认知研究结果与在成人被试中得到的结果非常相似。因此可以推断, 生后 6 个月的婴儿已具备与成人相似的社会和情绪脑网络<sup>[35]</sup>。进一步研究发现, 6 个月的婴儿不仅已形成了与成人类似的情绪加工网络, 而且具备了初步的恐惧条件化(fear conditioning)学习的能力<sup>[36]</sup>。婴儿不仅可以解码面孔传递的情绪信息(如抚养者是高兴还是愤怒), 也会借助这些社会信号中的情绪信息去了解外界环境(如身边的物体是安全的还是有害的, 可以接触还是需要避免), 提示了早期社会推断和心理理论能力的发展<sup>[1]</sup>。

虽然婴儿的行为学研究产生了很多有价值的结果, 但行为学手段难以直接研究认知机制的空间和时间特性, 也无法从发展角度探讨认知能力与相应神经机制的关系。EEG 和 fNIRS 技术的发展成熟, 使人们探讨相应神经机制的早期发展成为可能。EEG 测量神经元突触后电位投射到头皮的宏观电位, 是神经电活动的直接且无创的测量手段。新近发展的 fNIRS 通过测量大脑皮层表面脑血流量的变化, 反映相应脑区的激活。fNIRS 因可以容忍一定程度的身体运动且便于携带, 与其他传统脑成像技术如 fMRI 相比, 更加适合婴儿和新生儿的研究, 成为定位早期认知机制的主要手段。另外, EEG 和 fNIRS 可以记录静息态的脑电和血流改变, 婴儿的行为反应不是必需的, 因此实验甚至可以在睡眠时进行, 大大提升了婴儿认知实验的可操作性<sup>[29]</sup>。

## 2.1 面孔情绪加工

面孔特别是抚养者的面孔是婴儿最常接触也是最重要的社会性刺激。负责面孔加工的神经网络可能在个体发展早期(生后 0~3 个月)已经出现, 生后 2 周内, 视觉表征区域和杏仁核、眶额叶间的神经连接已基本建立<sup>[26]</sup>。生后 2 个月左右, 婴儿的梭状回、颞上回都开始表现出面孔加工的特异性, 尽管此时婴儿负责面孔加工的脑区比成人的相应脑区更加广

泛<sup>[37,38]</sup>。生后 3~4 个月左右, 婴儿虽不能区别情绪面孔, 但已对面孔的某些视觉特性敏感。从生后 3 个月开始, 面孔图片比非面孔图片在婴儿的颞枕区诱发更大的神经电活动<sup>[39]</sup>。生后 4 个月的婴儿开始对眼睛的注视方向敏感, 直视的目光能引发更强的 gamma 频段能量, 但这一结果在倒立的面孔中观测不到<sup>[40]</sup>。然而直到生后 5~7 个月, 情绪面孔加工的神经网络才能基本完成功能特异化, 此时婴儿能够比较稳健地区分出不同情绪面孔或语音, 并表现出负性偏向<sup>[1,2,5]</sup>。生后 7 个月的婴儿在观看负性情绪面孔时, 与中性或正性面孔相比, 额顶区的中央负成分(negative central component, Nc)的波幅更大<sup>[41]</sup>, 观看恐惧面孔时, 颞枕区的 P400 波幅更大<sup>[42]</sup>。

在面孔加工中, N170 是成人进行面孔识别时的特异成分, 但对它的起源和发展却了解甚少。目前针对婴儿面孔识别的脑电研究发现, Nc 是婴儿面孔加工研究中最重要的大脑成分, 对情绪信息敏感, 并且会随着年龄变化而变化, 一般出现在额顶区, 溯源定位在前扣带回<sup>[43]</sup>, 主要反映婴儿的注意分配和视觉再认能力<sup>[30]</sup>。婴儿在生后 7 个月时观看母亲面孔与陌生人面孔, 前者诱发的 Nc 波幅更大<sup>[44]</sup>。在生后 18~54 个月, 婴儿观看母亲面孔时诱发的 Nc 波幅与婴儿的年龄呈正比<sup>[45]</sup>。但因为缺乏相应的发展性研究, 仍不清楚 Nc 在成人面孔加工中相对应的脑电成分<sup>[30]</sup>。另外研究表明, 生后 5 个月的婴儿在加工面孔表情时会出现 N290 和 P400, 其在颞枕区激活最强并与 N170 的认知特性相似, 可能是除 Nc 之外的面孔加工的早期特异性成分<sup>[46]</sup>。这 2 个成分在出生后第 3 个月出现, 但要在生后第 12 个月左右才能整合为与成人相似的 N170 成分<sup>[39,47]</sup>, 表明负责面孔加工的脑区要到生后 1 年后方能发育成熟。

## 2.2 情绪性语音加工

人类语音无疑也是最重要的社会信号之一, 它有助于婴儿区分抚养者和陌生人, 并理解对方的情绪状态<sup>[18]</sup>。在成人脑中, 语音加工的主要脑区是颞上回<sup>[16]</sup>。该区域对社会交流中的情感信息特别是与威胁有关的情绪(恐惧、愤怒)非常敏感, 被认为是情绪加工网络中的核心脑区之一<sup>[23]</sup>。

婴儿情绪性语音加工的脑成像研究表明, 2~3 个月的婴儿尚未形成对情绪性语音加工敏感的脑区<sup>[31]</sup>。尽管生后 4 个月的婴儿可以辨别情绪性语音, 但其负

责的脑区主要位于颞上回的前部,与成人尚有差别<sup>[48]</sup>. 婴儿的颞上回在生后 4~7 个月开始功能特异化,并在 7 个月时对情绪性语音加工表现出右侧化优势和负性偏向. 与快乐语音相比,右侧颞叶对愤怒语音更加敏感<sup>[19,49]</sup>. 直到生后第 7 个月,婴儿语音加工脑区的激活模式才与成人基本相似<sup>[19,20,31]</sup>. 进一步的研究发现,婴儿对非言语语音的情绪感知能力也产生于生后 3~7 个月,此时被激活的脑区主要为颞前叶皮层,其中悲伤性语音还可以影响眶额叶和脑岛的活动<sup>[20]</sup>. 该脑激活模式表明负责人类语音和负性情绪的神经网络在生后 3 个月后开始功能特异化,并直到 7 个月时才基本发育成熟.

虽然最近有研究者利用 oddball 范式发现,在控制了基频(f0)后,生后 0~5 d 的婴儿即可区分不同情绪的语音,并且还表现出了情绪加工的右侧化优势和负性偏向:相较于快乐、中性语音,愤怒语音在大脑右侧诱发出了更大的脑电成分<sup>[50]</sup>. 但考虑到才出生时,颞上回还没有达到功能特异化,因此该研究的结果很可能仅反映了婴儿先天对负性刺激的自主性注意偏向<sup>[3]</sup>,而不能成为刚出生婴儿具备辨别情绪性语音能力的直接证据. 另外,虽然研究者控制了语音加工中与情绪最相关的基频属性<sup>[50]</sup>,但仍不能排除婴儿对负性语音的偏向是由于其他物理属性(如高频谐波)的差异而引起的<sup>[51,52]</sup>. 类似的问题在情绪面孔加工的研究中也存在,至今仍不清楚的是,婴儿对恐惧表情的注意偏向仅仅是对恐惧表情的某种基本物理特性的加工偏向(如对比度、空间频率等),还是对恐惧面孔所代表的空间整合特性的加工偏向.

### 2.3 早期社会交往

母婴互动是早期社会交往的最主要形式,对婴儿未来形成正常的社会技巧和情绪感知能力具有重大意义<sup>[53]</sup>. 婴儿在同母亲较长时间的社会互动中,逐渐形成对母亲的依恋. 依恋是婴儿与主要抚养者之间最初的社会性联接,是情感社会化的重要标志<sup>[53]</sup>. 早在 20 世纪 60~70 年代,鲍尔比和艾斯沃斯就通过陌生情境法系统研究了婴儿的依恋,并区分了 3 种不同的依恋类型,分别为安全型、回避型和反抗型. 不同的依恋类型对未来社会性和情绪发展的影响不同<sup>[54]</sup>,甚至对基础认知能力如注意、记忆的发展也会产生影响<sup>[55]</sup>. 后续进一步的实证研究发现,长期的母婴分离或社会剥夺会导致婴儿的社会和情

绪脑机制发育缓慢甚至异常,并可能出现结构性改变<sup>[24]</sup>. 依恋关系在婴儿生后第 6 个月左右形成,此时婴儿开始对陌生人焦虑、对母亲更为偏爱<sup>[54]</sup>. 当暂时失去母亲的关注时,6 个月的婴儿会表现出更多的负性情绪,更多的注视、碰触母亲,并发出抗议性的咕啾声<sup>[56]</sup>. 有趣的是,当社会性竞争导致婴儿失去母亲的注意时,相较于非社会性竞争,婴儿表现出更大的负性情感和左侧化优势. 左侧额叶的 EEG 能量更大,表明婴儿在生后 6 个月时已具有嫉妒性的社会情绪<sup>[57]</sup>. 生后 6~7 个月,这正是婴儿开始爬行并主动探索外界环境的时候<sup>[1]</sup>. 婴儿将自己置于相对危险的境地,因此形成与母亲的依恋关系并随时得到母亲的关注,对这一发展阶段的婴儿至关重要.

为了探讨依恋的神经机制,研究者在控制了面孔熟悉性变量后,利用 fNIRS 发现,母亲观看自己孩子时眶额叶前部有特异性激活,且激活强度与婴儿的心情愉悦度成正比. 同样,12 个月大的婴儿在观看自己母亲的笑脸时,眶额叶也会特异性激活,只是激活脑区相较于母亲更加广泛<sup>[15]</sup>. 该研究表明,眶额叶是负责编码和调节社会依恋系统的主要脑区,并在婴儿期就已功能特异化. 除了眶额叶,杏仁核可能也是负责社会性依恋的脑机制之一. 动物研究发现,杏仁核参与了婴儿期小鼠的刺激-奖赏性联接(偏好)和刺激-电击性联接(厌恶)学习,但社会偏好的学习能力在出生时就已出现,而厌恶性学习则在出生 10 d 后才能形成(这正好是小鼠要离开巢穴的时候)<sup>[58]</sup>. 这暗示杏仁核可能参与 2 个不同的神经通路:一个与社会依恋的形成有关,一个主要负责社会威胁性刺激的加工<sup>[2]</sup>.

另外,研究者也探讨了社会剥夺对灵长类动物社会性与情绪发展的影响. 实验组恒河猴从出生到 9 个月完全剥夺社会性刺激,控制组则生活在正常的社会环境中. 19~21 岁时断头取脑,发现在婴儿期经历社会剥夺的恒河猴与正常恒河猴相比,其纹状体、基底神经节和杏仁核都发生了变化,表明出生后的社会环境可以影响社会和情绪脑机制的发展<sup>[59]</sup>.

总而言之,虽然社会和情绪脑机制的核心成分在生命早期就已形成和发展,但与成人大脑中成熟的情绪加工网络相比,该神经机制在婴儿大脑中涉及更广泛的脑区,需要日后社会经验的积累才能功能特异化,而早期的社会经验剥夺则会对其发展产生显著影响.

### 3 早期社会经验对社会和情绪脑机制的影响

Greenough 等人<sup>[60]</sup>回顾早期社会经验和大脑发展的关系,第一次系统阐述了经验-期待性机制(experience-expectant)和经验-依赖性机制(experience-dependent)在大脑发育中的作用.其中经验-期待性信息是指外界环境中普遍存在的,对所有人类群体而言最基本的社会刺激.而相应的经验-期待性机制是指进化形成的神经准备(neural preparation),如先形成大量的神经元和突触,以及后续的知觉窄化(perceptual narrowing)过程.知觉窄化是指对频繁出现的刺激的加工能力不断增强,而对很少出现的刺激逐渐丧失反应的过程.知觉窄化是大脑功能特异化的过程,以相应脑区神经元突触的连接增强而突触数量减少为标志<sup>[61]</sup>.相反的,经验-依赖性信息是指个体后天独特的社会经验.相对应的经验-依赖性机制则特指因后天社会经验而形成新的突触连接,或者改变先前神经网络连接的神经基础.Greenough 等人提出的这一理论框架被后来的发展神经科学家广泛接受.

Leppanen 和 Nelson<sup>[2]</sup>认为,面孔情绪加工的神经网络的发展主要由经验-期待性机制和经验-依赖性机制控制.在生命早期,主要是经验-期待性机制起作用,社会认知和情绪加工的基本功能只需要基本的社会刺激就可以自然产生,不需要特别的社会环境.接下来通过知觉窄化过程,完成突触修剪(synaptic pruning),使相应脑区功能特异化.生后7个月以后,先前形成的神经网络受到个体独特社会经验的影响而形成个体差异,该神经网络一直保持某种程度的可塑性直到青春期.下面,从这2个方面讨论早期社会经验对社会和情绪脑机制发展的影响.

#### 3.1 经验-期待性机制

虽然社会-情绪神经网络的核心成分在生后早期(0~3个月)已达到结构成熟,并与视听觉表征区形成了功能连接,但此时各个脑区都没有形成功能特异化<sup>[2]</sup>.如与成人相比,尽管生后3个月的婴儿在加工情绪面孔时,梭状回和颞上回都开始表现出特异性的激活,但激活的脑区更加广泛<sup>[38,48]</sup>.而生后5~7个月,随着后天经验的积累,负责情绪面孔或语音加工的脑区才开始逐渐完成功能特异化的过程<sup>[2]</sup>.这表明先天的准备趋势仍需要后天经验才能发展完善.在生后5~7个月,婴儿开始爬行并主动探索外界环境,

因而将自己置于相对危险的境地.这时抚养者的面部表情和语音色彩就是其探索外界环境安全与否的标示.鉴于如此重要的进化意义,婴儿将会“期待”在不同环境都能拥有情绪面孔和语音经验.这种具有普遍意义的经验将会有助于接下来知觉窄化过程的完成.婴儿刚出生时拥有远多于成人大脑的神经元,但突触连接则相对较少.生后5~7个月,通过知觉窄化过程,相应脑区的突触间联系增强,同时突触数量减少并逐渐趋于稳定.神经网络开始功能特异化,只对特定的社会性刺激敏感.Pascalis 等人<sup>[47]</sup>首先证实了这一现象,他们发现6个月大的婴儿区别两张猴脸与辨别两张人脸的能力是相近的,而9个月大的婴儿和成人只能分辨出人脸.后续研究表明,生后6个月的婴儿连续接受3个月的猴脸刺激,到9个月大时,婴儿仍保持着区别猴脸的能力,而对照组的婴儿则不然<sup>[62]</sup>.

相反地,当“期待”的社会经验没有具备时,相应的脑机制发育可能滞后,而在关键期的经验剥夺将会对婴儿的发展造成不可逆的影响<sup>[2]</sup>.比如,对婴儿期恒河猴进行面孔刺激剥夺,使之在生后6~24个月完全看不到面孔刺激,随机分组后,一组恒河猴连续1个月看人脸图片,而另一组连续1个月看猴脸图片.结果发现,在1个月的面孔刺激暴露前,2岁的恒河猴仍具有从人脸中区分出猴脸的能力,表明这种辨别能力的产生无需视觉经验.但这种初始的辨别能力在经过1个月的面孔刺激暴露后,发生显著变化:2岁零1个月的恒河猴只对那些有视觉经验的面孔才具有辨别能力<sup>[63]</sup>.这也表明仅有先天的准备趋势是不够的,社会-情绪神经网络仍旧需要基本的社会经验方能发展成熟.

#### 3.2 经验-依赖性机制

尽管社会和情绪加工的神经网络仅需基本的社会经验便足以发育成熟,完成功能特异化,但其发育过程仍会受到个体独特社会经历的影响.最有力的证据来自受虐儿童的研究.受虐儿童经常暴露于父母高水平的负面情绪表达中,承受其直接的言语、身体攻击.虽然他们对基本情绪的表征基本正常,但却表现出对愤怒信号更高的敏感性和更广的知觉范畴<sup>[64]</sup>.相比于正常儿童,受虐儿童更可能将模棱两可的情绪状态知觉为愤怒,并更可能作出回应<sup>[24]</sup>.对愤怒情绪视觉线索的高敏感性反映了情绪识别机

制的自适应过程。鉴于受虐儿童识别面部表情的能力通常是正常的,因此这种自适应过程代表了社会和情绪脑机制的微调,而非整体机制的改变。由此可推断情绪识别网络的基础构架主要通过经验-期待性机制形成,但仍会受到经验-依赖性机制的调节。

负责社会和情绪加工的部分脑区在整个生命阶段都保留着可塑性,并会因奖赏与厌恶经验而迅速改变对该刺激的反应<sup>[36,65]</sup>。例如,对成年小鼠进行高频刺激的同时给予奖赏或惩罚,其初级听觉皮层神经元连接将会迅速发生相应的改变,且该种改变可保留长达8周<sup>[66]</sup>。

综上所述,社会和情绪脑通过经验-期待性机制完成功能特异化,并通过经验-依赖性机制的调节趋于完善。社会和情绪脑不是独立于社会经验的先天形成的高度特异化的加工模块,发展敏感期时期的社会剥夺会对其产生不可逆的影响。该社会-情绪的神经网络在一生中都保持一定程度的可塑性,会因个体独特的社会经验而发生相应的微调。

#### 4 总结与展望

在本文中,从面孔表情、情绪性语音和早期社会交往3个方面系统总结了婴儿社会性和情绪发展的研究,并描述了相应社会-情绪神经网络的发展进程。在此基础上,采用经验-期待性机制和经验-依赖性机制讨论了早期社会经验对社会和情绪脑机制的影响。人类出生时,社会和情绪脑的核心结构(杏仁核、眶额叶和颞上回)已经产生,并对愤怒语音表现出自主性的注意偏向<sup>[50]</sup>。生后3~4个月内的婴儿虽不能区分面孔情绪,但已表现出对面孔特性的偏好<sup>[40]</sup>。出生后5~7个月,经验-期待性机制起主要作用。婴儿大脑的突触间联系增强,同时突触数量减少<sup>[2]</sup>。神经网络开始功能特异化,只对特定的社会刺激敏感。婴儿能稳健地辨别面孔或语音的情绪。在此期间,婴儿形成对母亲的社会性依恋,产生陌生人焦虑<sup>[1]</sup>。这期间社会剥夺将会对社会-情绪神经网络的发展产生不可逆的影响。7个月以后,该神经网络持续发展并

通过经验-依赖性机制的调节逐渐趋于完善,并在生命全程中都保持一定程度的神经可塑性。因此,笔者认为社会-情绪的神经网络不是先天形成的、独立于社会经验的加工模块。社会-情绪神经网络的发展仅有先天的准备趋势是不够的,仍旧需要基本的社会经验方能趋于完善,且会因个体独特的社会经验而发生相应的微调。这也支持了Johnson<sup>[4]</sup>的交互特异化理论(interactive specialization),即虽然出生时某些负责情绪加工的神经机制已发育成熟,但后天经验将会在更大程度上塑造和改变社会和情绪脑。

经过近20年的努力,发展神经科学家已能基本描述人类生命早期社会和情绪脑机制的发展过程。但该领域的研究才刚刚起步,通过利用多种手段,从不同层次探讨社会和情绪脑机制的起源和发展,将能够更准确地定位发展的关键期,了解各种认知能力与相应神经机制的演变。需要始终从发展的角度看待社会和情绪脑机制,如将婴儿的脑电成分与成人的脑电成分联系起来,尝试理解不同认知能力和对应神经机制的发展变化。在将来的研究中,利用纵向研究设计,追踪不同社会认知能力的发展和其相应的脑机制变化将是最理想的方法。本文在系统回顾婴儿社会性和情绪发展的基础上,认为未来的研究可以从以下3个方向展开:(1)进行纵向实验,进一步探讨婴儿期(0~1岁)面孔和语音知觉能力的发展和相应的神经机制的演变,这有利于更精确地划定不同社会认知能力发展的敏感期;(2)合理控制实验条件,明确已发现的婴儿对情绪的偏向,是源于对刺激低级物理属性的辨别,还是源于对情绪本身的辨别;(3)使用新技术,如分子遗传、高密度EEG、脑成像(如fNIRS和fMRI)方法探讨关键的社会环境变量对社会和情绪脑机制的影响<sup>[67]</sup>。例如,通过对比正常婴儿与自闭症患儿早期的社会性和情绪发展,将能更好地理解社会互动对未来认知能力和情感发展的重要性。相信随着技术手段、实验范式和分析技术的不断发展,人们对社会和情绪脑机制的早期发展将会有更加深刻和全面的了解。

#### 参考文献

- 1 Leppanen J M, Nelson C A. Early development of fear processing. *Curr Dir Psychol Sci*, 2010, 21: 200–204
- 2 Leppanen J M, Nelson C A. Tuning the developing brain to social signals of emotions. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10: 37–47
- 3 Vaish A, Grossmann T, Woodward A. Not all emotions are created equal: The negativity bias in social-emotional development. *Psychol Bull*, 2008, 134: 383–403

- 4 Johnson M H. Interactive specialization: A domain-general framework for human functional brain development? *Deve Cogn Neurosci*, 2011, 1: 7–21
- 5 Lindquist K A, Wager T D, Bliss-Moreau E, et al. What are emotions and how are they created in the brain? *Behav Brain Sci*, 2012, 35: 172–202
- 6 Flom R, Bahrick L E. The development of infant discrimination of affect in multimodal and unimodal stimulation: The role of intersensory redundancy. *Dev Psychol*, 2007, 43: 238–252
- 7 Brothers L. The social brain: A project for integrating primate behavior and neurophysiology in a new domain. *Conc Neurosci*, 1990, 1: 27–51
- 8 Grossmann T, Johnson M H. The development of the social brain in human infancy. *Eur J Neurosci*, 2007, 25: 909–919
- 9 McGraw L A, Young L J. The prairie vole: An emerging model organism for understanding the social brain. *Trends Neurosci*, 2010, 33: 103–109
- 10 Luo Q, Holroyd T, Jones M, et al. Neural dynamics for facial threat processing as revealed by gamma band synchronization using MEG. *NeuroImage*, 2007, 34: 839–847
- 11 Vuilleumier P, Richardson M P, Armony J L, et al. Distant influences of amygdala lesion on visual cortical activation during emotional face processing. *Nat Neurosci*, 2004, 7: 1271–1278
- 12 Bauman M D, Lavenex P, Mason W A, et al. The development of social behavior following neonatal amygdala lesions in rhesus monkeys. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16: 1388–1411
- 13 Bar M, Kassam K S, Ghuman A S, et al. Top-down facilitation of visual recognition. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, 103: 449–454
- 14 Hooker C I, Verosky S C, Miyakawac A, et al. The influence of personality on neural mechanisms of observational fear and reward learning. *Neuropsychologia*, 2008, 46: 2709–2724
- 15 Minagawa-Kawai Y, Matsuoka S, Dan I, et al. Prefrontal activation associated with aocial attachment: Facial-emotion recognition in mothers and infants. *Cereb Cortex*, 2009, 19: 284–292
- 16 Belin P, Zatorre R J, Lafaille P, et al. Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 2000, 403: 309–312
- 17 Petkov C I, Kayser C, Steudel T, et al. A voice region in the monkey brain. *Nat Neurosci*, 2008, 11: 367–374
- 18 Belin P, Fecteau S, Bedard C. Thinking the voice: Neural correlates of voice perception. *Trends Cogn Sci*, 2004, 8: 129–135
- 19 Grossmann T, Oberecker R, Koch S P, et al. The Developmental origins of voice processing in the human brain. *Neuron*, 2010, 65: 852–858
- 20 Blasi A, Mercure E, Lloyd-Fox S, et al. Early specialization for voice and emotion processing in the infant brain. *Curr Biol*, 2011, 21: 1220–1224
- 21 Mottonen R, Calvert G A, Jaaskelainen I P, et al. Perceiving identical sounds as speech or non-speech modulates activity in the left posterior superior temporal sulcus. *NeuroImage*, 2006, 30: 563–569
- 22 Redcay E. The superior temporal sulcus performs a common function for social and speech perception: Implications for the emergence of autism. *Neurosci Biobehav Rev*, 2008, 32: 123–142
- 23 Vuilleumier P. How brains beware: Neural mechanisms of emotional attention. *Trends Cogn Sci*, 2005, 9: 585–594
- 24 Johnson M H, Griffin R, Csibra G, et al. The emergence of the social brain network: Evidence from typical and atypical development. *Dev Psychopathol*, 2005, 17: 599–619
- 25 Johnson M H. Subcortical face processing. *Nat Rev Neurosci*, 2005, 6: 766–774
- 26 Machado C J, Bachevalier J. Non-human primate models of childhood psychopathology: The promise and the limitations. *J Child Psychol Psychiatry*, 2003, 44: 64–87
- 27 Skuse D H, Gallagher L. Dopaminergic-neuropeptide interactions in the social brain. *Trends Cogn Sci*, 2009, 13: 27–35
- 28 Rodman H R, Consuelos M J. Cortical projections to anterior inferior temporal cortex in infant macaque monkeys. *Vis Neurosci*, 1994, 11: 119–133
- 29 Mento G, Bisiacchi P S. Neurocognitive development in preterm infants: Insights from different approaches. *Neurosci Biobehav Rev*, 2012, 36: 536–555
- 30 de Haan M. *Infant EEG and Event-Related Potentials*. Hove: Psychology Press, 2007
- 31 Belin P, Grosbras M H. Before speech: Cerebral voice processing in infants. *Neuron*, 2010, 65: 733–735
- 32 Field T M, Woodson R, Greenberg R, et al. Discrimination and imitation of facial expressions by neonates. *Science*, 1982, 218: 179–181
- 33 Kotsoni E, de Haan M, Johnson M H. Categorical perception of facial expressions by 7-month-old infants. *Perception*, 2001, 30: 1115–1125
- 34 Peltola M J, Leppanen J M, Palokangas T, et al. Fearful faces modulate looking duration and attention disengagement in 7-month-old infants. *Dev Sci*, 2008, 11: 60–68
- 35 Georgiou G A, Bleakley C, Hayward J, et al. Focusing on fear: Attentional disengagement from emotional faces. *Vis Cogn*, 2005, 12: 145–158

- 36 Hooker C I, Germine L T, Knight R T, et al. Amygdala response to facial expressions reflects emotional learning. *J Neurosci*, 2006, 26: 8915–8922
- 37 Tzourio-Mazoyer N, de Schonen S, Crivello F, et al. Neural correlates of woman face processing by 2-month-old infants. *NeuroImage*, 2002, 15: 454–461
- 38 Otsuka Y, Nakato E, Kanazawa S, et al. Neural activation to upright and inverted faces in infants measured by near infrared spectroscopy. *NeuroImage*, 2007, 34: 399–406
- 39 Halit H, de Haan M, Johnson M H. Cortical specialisation for face processing: Face-sensitive event-related potential components in 3- and 12-month-old infants. *NeuroImage*, 2003, 19: 1180–1193
- 40 Grossmann T, Johnson M H, Farroni T, et al. Social perception in the infant brain: Gamma oscillatory activity in response to eye gaze. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2007, 2: 284–291
- 41 de Haan M, Belsky J, Reid V, et al. Maternal personality and infants neural and visual responsivity to facial expressions of emotion. *J Child Psychol Psychiatry*, 2004, 45: 1209–1218
- 42 Leppanen J M, Moulson M C, Vogel-Farley V K, et al. An ERP study of emotional face processing in the adult and infant brain. *Child Dev*, 2007, 78: 232–245
- 43 Reynolds G D, Richards J E. Familiarization, attention, and recognition memory in infancy: An event-related potential and cortical source localization study. *Dev Psychol*, 2005, 41: 598–615
- 44 de Haan M, Nelson C A. Recognition of the mother's face by six-month-old infants: A neurobehavioral study. *Child Dev*, 1997, 68: 187–210
- 45 Carver L J, Dawson G, Panagiotides H, et al. Age-related differences in neural correlates of face recognition during the toddler and preschool years. *Dev Psychobiol*, 2003, 42: 148–159
- 46 de Haan M, Pascalis O, Johnson M H. Specialization of neural mechanisms underlying face recognition in human infants. *J Cogn Neurosci*, 2002, 14: 199–209
- 47 Pascalis O, de Haan M, Nelson CA. Is face processing species-specific during the first year of life? *Science*, 2002, 296: 1321–1323
- 48 Dehaene-Lambertz G, Dehaene S, Hertz-Pannier L. Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, 2002, 298: 2013–2015
- 49 Grossmann T, Striano T, Friederici A D. Infants electric brain responses to emotional prosody. *Neuroreport*, 2005, 16: 1825–1828
- 50 Cheng Y W, Lee S Y, Chen H Y, et al. Voice and emotion processing in the human neonatal brain. *J Cogn Neurosci*, 2012, 24: 1411–1419
- 51 Vouloumanos A, Werker J F. Why voice melody alone cannot explain neonates' preference for speech. *Dev Sci*, 2007, 10: 169–171
- 52 Weikum W M, Vouloumanos A, Navarra J, et al. Visual language discrimination in infancy. *Science*, 2007, 316: 1159–1161
- 53 Moll J, Schulkin J. Social attachment and aversion in human moral cognition. *Neurosci Biobehav Rev*, 2009, 33: 456–465
- 54 Bowlby J. *Attachment and Loss: Attachment*. New York: Basic Books, 1969
- 55 刘焯, 付秋芳, 傅小兰. 认知与情绪的交互作用. *科学通报*, 2009, 54: 2783–2796
- 56 Hart S L. The ontogenesis of jealousy in the first year of life. In: Hart S L, Legerstee M, eds. *Handbook of Jealousy*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. 55–82
- 57 Mize K D, Jones N A. Infant physiological and behavioral responses to loss of maternal attention to a social-rival. *Int J Psychophysiol*, 2012, 83: 16–23
- 58 Moriceau S, Sullivan R M. Maternal presence serves as a switch between learning fear and attraction in infancy. *Nat Neurosci*, 2006, 9: 1004–1006
- 59 Martin L J, Spicer D M, Lewis M H, et al. Social deprivation of infant rhesus monkeys alters the chemoarchitecture of the brain. *J Neurosci*, 1991, 11: 3344–3358
- 60 Greenough W T, Black J E, Wallace C S. Experience and brain development. *Child Dev*, 1987, 58: 539–559
- 61 Lewkowicz D J, Ghazanfar A A. The emergence of multisensory systems through perceptual narrowing. *Trends Cogn Sci*, 2009, 13: 470–478
- 62 Pascalis O, Scott L S, Kelly D J, et al. Plasticity of face processing in infancy. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 5297–5300
- 63 Sugita Y. Face perception in monkeys reared with no exposure to faces. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105: 394–398
- 64 Pollak S D, Kistler D J. Early experience is associated with the development of categorical representations for facial expressions of emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, 99: 9072–9076
- 65 Paton J J, Belova M A, Morrison S E, et al. The primate amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning. *Nature*, 2006, 439: 865–870
- 66 Weinberger N M. Specific long-term memory traces in primary auditory cortex. *Nat Rev Neurosci*, 2004, 5: 279–290
- 67 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



## Early development of the social and emotional brain in infancy

LIU YunZhe<sup>1</sup>, ZHANG DanDan<sup>1</sup> & LUO YueJia<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

<sup>2</sup>Sichuan Research Center of Applied Psychology, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, China

An important function of the brain is to scan one's surroundings for the presence of biologically relevant features and grant them priority for attention and action. The significance of this function for an individual's well-being and survival has given rise to the argument that specialized neural mechanisms for processing biologically salient stimuli may exist and that these mechanisms may require little, if any, experience for normal development. As evidenced by behavioral studies, the ontogeny of this network and associated cognitive capacities may emerge before the age of one year. With technological advances in recent years, researchers have been able to utilize electroencephalography, functional near-infrared spectroscopy, and functional magnetic resonance imaging to directly explore the early development of social-emotional brain mechanisms. In this paper, we systematically review three major aspects of early social and emotional development in infancy—facial expression, emotional voice, and early socialization. Based on empirical evidence, we describe the developmental process of the corresponding social and emotional neural network. We then discuss the impact of early social experience on the development of the social and emotional brain in terms of experience-expectant and experience-dependent mechanisms. We argue that the social-emotional neural network is not a congenital processing module that is independent of social experience. The core structure of the human social and emotional brain seems to reach anatomical maturity relatively early in development (zero to three months); however, the basic organization of the social-emotional network may be specified by an experience-expectant neural circuitry that emerges at five to seven months of age and is rapidly refined by exposure to universal features of social experience during a sensitive period of development. The network retains some plasticity throughout a person's lifetime and can be fine-tuned by individual-specific experiences, i.e., experience-dependent development. Functional connectivity between emotion-processing networks and other prefrontal regulatory systems continues to develop into adolescence. Finally, based on the present study of the early development of the social and emotional brain, we indicate three promising directions for future research.

**infant, social and emotional brain, experience-expectant mechanism, experience-dependent mechanism**

doi: 10.1360/972012-1300