

生育经验对婴儿听觉线索心理加工的影响*

王心越 尤连东 李 鸣

(南京大学社会学院心理学系, 南京 210023)

摘 要 母亲, 尤其是人类母亲, 对婴儿哭声和笑声所具有的独特的声学特征、情绪价值和生存线索特别敏感。本文评估了多种基于婴儿哭声材料所开发的认知实验范式, 并探讨了母亲在对婴儿哭声的知觉敏感性、注意力分配和情绪处理等心理功能上的表现。母亲对婴儿声音的知觉、注意和情绪加工能力明显高过非母亲; 初级听觉皮层到前额叶-边缘系统的多层次网络的激活也更高。催产素、多巴胺等神经分子以及育儿经验、社会经济文化等环境因素对母亲的心理加工能力起到了重要的调节作用。现有研究总体符合认知重组理论, 即大脑结构和功能的适应性变化更好促进了母婴双方的共同福祉。然而, 未来研究需进一步拓展多模态结合的研究设计, 在实验中区分各类心理功能, 并深入解析背后的神经机制。

关键词 婴儿听觉线索, 生育经验, 母性行为, 神经内分泌机制, 认知重组理论

分类号 B844

生育经验(Reproductive experience)是指女性在怀孕、分娩和产后育儿过程中的生理、心理和社会文化体验。生育经验对女性的大脑和心理有很大影响。这种影响与生育过程中激素的波动有关(李想 等, 2013; Markon et al., 2021)。分娩后, 母亲体内的雌激素和孕激素水平会在 24 小时内下降到孕前的水平。剧烈的激素变化可能会影响她们的情绪调节, 导致情绪敏感, 甚至出现抑郁倾向。约 39% 的母亲会经历“产后抑郁情绪”(postpartum blues, maternity blues; Landman et al., 2024)。在哺乳期, 催产素(oxytocin, OXT)的分泌量会大幅增加, 这不仅能激发母亲的母性本能, 还能帮助母婴之间建立感情联系。同时, 催乳素(prolactin, PRL)除了促进母乳分泌, 还可能增强母亲对婴儿需求的反应(Lévy, 2016)。母亲能够准确地理解婴儿发出的信号并作出适当回应的能力被称为“母性敏感性”(maternal sensitivity)。

照顾婴儿的高强度需求往往会导致母亲注意力资源的重新分配。部分母亲在此过程中可能会出现短暂性的健忘, 即民间俗称的“孕傻”

(“mommy brain”)。民间智慧中“一孕傻三年”的戏谑之语, 看似是在调侃妊娠期间女性认知能力的衰退, 但实际上却与现代神经科学所发现的生育神经重构机制不谋而合(Hoeckzema et al., 2017)。研究发现, 产后母亲大脑中与默认模式网络(default mode network, DMN)相关的脑区(例如前额叶、顶叶)的灰质体积会出现减少的情况, 而这种变化与增强的“母性专注”(如更为敏锐地察觉婴儿的需求)密切相关。从适应性调整的角度来看, 这种情况犹如生物演化过程中的“功能再分配”, 通过灰质体积呈现 U 型重塑轨迹(即妊娠期减少, 产后逐步恢复)来优化神经网络的配置: 认知相关的脑区(如前额叶与海马体)会发生结构性重组(Servin-Barthet et al., 2023), 其目的在于强化母婴信号监测系统——使得新晋母亲对婴儿线索的敏感性和精确性得到显著提升(Swain & Ho, 2017)。在大脑功能方面, 前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)、杏仁核、前额叶皮层(prefrontal cortex, PFC)、伏隔核、岛叶以及 DMN 的激活情况均在产后会发生改变, 且这些改变与母性敏感性或者照顾行为有着紧密的关联(De Pisapia et al., 2013; Feldman, 2015; Kim et al., 2014; Swain et al., 2014; 张火垠 等, 2019)。

目前, 生育经验对母亲心脑功能的影响在学

收稿日期: 2025-03-27

* 南京大学队伍建设启动经费。

通信作者: 李鸣, E-mail: mingli@nju.edu.cn

界中受到了较多的关注,但大部分研究集中在产后母亲的一般注意力、记忆加工以及情绪调节等方面,而对于直接跟育儿有关的心理功能,诸如对婴儿线索的知觉加工阈限、反应动机等的研究较少。在人类发展进程中,婴儿声音作为交流和社交信号,对婴儿的成长与生存有着至关重要的意义,同时也显著影响母亲的认知功能和情绪状态。母性行为(maternal behavior)的质量在很大程度上取决于母亲对孩子需求的精准把握,以及婴儿声音所激发的母性反应。基于此,本文梳理了相关的文献,重点探讨了生育经验如何影响母亲对婴儿听觉线索的知觉、注意和情绪加工。首先,本文指出婴儿哭声与笑声在声学特征、传递的信息内容及唤起成人反应的强度上存在显著差异,这些差异有助于解释为何在探讨生育经验对心理功能的研究中,婴儿哭声更常被作为核心线索。接着,我们回顾了既往研究婴儿听觉线索时采用的实验范式。在此基础上,着重探讨了生育经验如何影响对婴儿听觉线索的认知与情绪加工过程,并深入分析可能涉及的大脑结构以及神经内分泌机制。通过整合前人的发现,我们提出生育经验对婴儿听觉线索的加工契合“认知重组理论”的观点(Anderson & Rutherford, 2012),即为了促进母婴共同发展,大脑的结构和功能发生了一定程度的重组与改变,从而优化母性行为,进而共同提升母亲和孩子的福祉。

1 婴儿听觉线索的声学特点与实验研究范式

婴儿笑声与哭声都是其早期情感表达的重要形式,但它们在功能、结构特征及研究价值上存在显著差异。婴儿笑声通常出现在低情绪唤醒状态下,能够反映愉悦和社交意图,并在亲子互动中起到建立情感联结的作用。例如,母亲与两岁之前的婴儿互动时,常通过模仿作为回应;而在婴儿30个月大后,母亲则更多通过语言和面部表情回应,这种转变与婴儿社会认知能力的发展密切相关。相比之下,笑声虽然也能引发正向社交反应,但对生存的急迫性远低于哭声。哭声不仅是一种情绪表达,更是婴儿最早、最强的求助信号。哭声的基频、节奏与声学不和谐性不仅反映婴儿的发育阶段与生理状态(如早产、疼痛或压力;Cacace et al., 1995; Yoo et al., 2019),也呈现出一

定的个体特异性(Lockhart-Bouron et al., 2023)。这些高频、不和谐的声学特征往往跨文化地引发听者的不适体验、心率上升和皮肤电反应(LaGasse et al., 2005),反映出婴儿哭声在进化上高度适应的功能属性。

婴儿哭声通常引发照料者的情绪唤醒,从而激发他们采取行动安抚婴儿。基于这一生存意义,心理学研究普遍将婴儿哭声作为核心听觉刺激,用于探讨照料者对哭声的行为、情绪和神经反应。其中最常见的范式是回放实验(playback experiment),旨在评估母亲对哭声的识别能力。范式的核心设计涉及训练与测试两个阶段。被试会在训练阶段多次熟悉特定婴儿的哭声,并在测试阶段判断呈现的哭声的归属(Bouchet et al., 2020; Gustafsson et al., 2013)或对哭声的原因进行分类(Corvin et al., 2022; Lockhart-Bouron et al., 2023)。多数研究将生育经验作为关键变量,对比产后母亲与未育女性,或初产与多产母亲之间的差异(Corvin et al., 2022; Lockhart-Bouron et al., 2023; Maupin et al., 2019),并发现分辨哭声的能力与育儿经验正相关(Bouchet et al., 2020; Gustafsson et al., 2013)。

婴儿哭泣会立即引起照料者注意,这是进化中为保证婴儿生存而演化出的关键沟通方式。为进一步理解生育经验对哭声加工的影响,研究者亦结合主观报告、生理反应和神经成像技术,测量母亲对哭声的情绪与认知反应。研究显示,母亲相比未育女性更具同理心、警觉性和更强的调节能力(Giardino et al., 2008),这些反应特征也可预测其未来的育儿敏感性和婴儿依恋质量(Leerkes et al., 2022)。此外,实验也采用认知任务范式考察婴儿哭声的干扰效应。例如,在 Stroop 任务中,未育女性在哭声干扰下的表现低于笑声干扰条件,表明哭声更易引发认知冲突(Dudek et al., 2016)。N-back 任务用于评估工作记忆表现,结果显示婴儿哭声对未育人群的干扰最强(Hechler et al., 2015),而多产母亲对干扰的适应性更高(Pérez-Hernández et al., 2021)。Go/No-Go 任务则揭示了哭声对抑制控制的影响,提示婴儿哭声可能通过多感官整合机制干扰认知控制(Leerkes et al., 2021)。

综上所述,婴儿哭声不仅是高度生物本能的情绪信号,也是一种能够反映母性动机与认知加

工差异的理想实验材料。因此,围绕哭声的声学特征与心理反应所开展的实验研究,已成为理解生育经验与照料行为关系的重要途径。

2 不同生育经验人群对婴儿哭声的心理加工

生育经验提升了母亲对婴儿哭声的识别能力和注意调控,也提高了对婴儿情绪信号的加工和响应水平。而母性行为背后的神经机制既具有可塑性,也受到环境和个体差异的影响。

2.1 知觉敏感性增强

本文所讨论的知觉敏感性特指母亲对婴儿哭声的识别能力。研究者们提出假设,这种能力可能体现在两个方面:一是对自己孩子哭声的特异性识别,二是对婴儿哭声所包含情绪与含义的解析。研究发现,具有育儿经验的女性在婴儿哭声的敏感性方面不仅显著优于无经验个体(Bouchet et al., 2020),还能通过整合声学特征与情境信息,分辨不同情境下哭声的微妙差异(Bornstein et al., 2017; 张火垠 等, 2019)。

Corvin 等人(2022)用回放实验范式揭示了育儿经验对哭声识别能力的影响。实验对比了无育儿经验的成人、非父母育儿者、五年以上儿童父母、两岁以下婴儿父母及专业护理人员对不同情境的婴儿哭声(接种疫苗引发的疼痛哭声和洗澡引发的轻微不适哭声)的识别。结果显示,有育婴经验的被试能准确分辨熟悉婴儿的哭声情境,而无经验被试的准确率则处于随机水平。特别的是,两岁以下婴儿的父母甚至可以识别训练阶段未出现的陌生婴儿哭声。相比之下,五岁以上儿童的父母和经验丰富的护理人员对陌生婴儿的哭声识别的准确率仅为随机水平。此结果表明,生育经验可能提高了父母对熟悉哭声的特异性识别和情境识别能力。但是随着育儿经验的增加,父母对婴儿哭声的敏感性逐渐降低,从而缓解了他们的育儿负担(Corvin et al., 2022)。然而,Lockhart-Bouron 等人(2023)的研究发现,即使父母在训练阶段了解了哭声的诱因(饥饿、不适或分离),在测试阶段对陌生婴儿哭声的分类准确率仍处于随机水平。这一研究的结果表明,母亲似乎并不能准确分辨婴儿哭声背后的含义。

这两项研究结果的差异可能与所用的哭声材料有关。Corvin 等人(2022)选用较为极端的情境

对比解释不同经验人群对婴儿哭声的理解能力,而 Lockhart-Bouron 等人(2023)则选择了较为日常的哭声情境。两项研究的对比证明,情绪唤醒水平会改变婴儿哭声的声学特征,使父母更容易识别并响应较为紧急的哭声。而具体的语义情境对哭声的声学特征影响较小(Lockhart-Bouron et al., 2023)。两者共同表明,生育经验的确会增强母亲对婴儿哭声的敏感性,特别是对自己孩子哭声的特异性识别。但是随着育儿经验的积累,父母在育儿过程中会采取不同层次的信息处理方式。

2.2 注意加工

母亲对自己婴儿的哭声存在注意偏向,而对婴儿哭声的注意偏向是引发母亲情绪加工以及后续育儿动机的第一步。Rigo 等人(2019)通过 fMRI 研究发现,母亲和未育女性在完成自我导向和目标导向任务两种任务情境时,对婴儿哭声与其他声音的神经响应呈现情境性差异。研究结果显示,在自我导向中所有女性(无论生育与否)在听到婴儿哭声时,都会将注意力从自我反思任务转移到婴儿哭声处理上;而在目标导向中母亲群体表现出难以脱离对婴儿哭声处理以专注外部任务。这项研究揭示了婴儿哭声在心理层面可能引发母性本能的反应,生育经验使得母亲在完成外部任务时仍然保持着对婴儿哭声的持续专注。

Hiraoka 等人(2023)通过纵向 Stroop 范式研究母亲对婴儿哭声的注意加工偏向。研究证实了,当听到自身婴儿哭声时,母亲完成 Stroop 范式的反应时更长。然而,从产后 2 到 8 个月,母亲在婴儿哭声的条件下,Stroop 任务反应时下降更为明显。这意味着当母亲具备更多的育儿经验,婴儿哭声对她们的注意干扰程度减弱。这也说明随着婴儿年龄的增长,母亲对自己孩子的注意资源分配逐渐减少。与之相映证的是,在产后 8 个月,对婴儿哭声的较高注意偏向与母亲主观评价的紧迫性较低相关。该结果表明,当母亲对婴儿哭声的注意力越集中,实际育儿行为的紧迫性反而降低,这可能与经验积累或认知调节机制有关。

2.3 情绪加工

多项研究讨论了母亲对婴儿哭声的情绪反应。Giardino 等人(2008)研究了青少年母亲、非母亲青少年与成年母亲对婴儿痛苦哭声的反应。实验采用标准化婴儿痛苦哭声录音(高/低强度)与中性语音片段,通过唾液皮质醇采样和心率监测评

估应激反应。结果显示,成年母亲在哭声刺激后的皮质醇(cortisol, CORT)水平呈现短暂升高,但青少年母亲的皮质醇水平呈线性下降。不仅如此,青少年母亲的心率加速反应显著弱于成年母亲,且母婴互动观察中注视回避行为更多。Bjertrup, Friis 等人(2021)采用多模态方法,结合 fMRI、皮肤电反应与眼动追踪技术,比较产后 4 个月的初产妇与未育女性对婴儿表情(中性、中度/高度快乐、中度/高度痛苦)和哭声的反应。实验中,被试需被动观看婴儿笑声与痛苦哭声的 28 秒视频,并完成婴儿情绪强度评分任务。结果显示,在观看哭声视频时,母亲的皮肤电反应峰值显著升高,注视时间更长,对婴儿笑声的面部表情更积极。

这些研究共同强调了母性增强了对婴儿线索的主观情感投入,与非母亲相比,所有母亲都报告了更高的同情心和警觉性。不过尽管自我报告的同理心相似,但不同群体母亲的生理和行为反应各不相同:成年母亲对哭泣表现出明显的自主神经和激素反应(例如,皮质醇升高,心率加速),而青少年和吸毒母亲表现出较弱的生理反应。此外,婴儿特征性刺激特异性地激活母亲的神经情感环路,加强了母亲经历对婴儿线索加工的深刻影响。这些发现表明,虽然母亲普遍放大了主观的养育反应,但生理和行为适应受到年龄、物质使用和婴儿熟悉度等因素的调节。

3 神经网络和神经内分泌机制

婴儿哭声的神经加工需要多级神经网络协同运作。育儿经验通过增强颞上回(superior temporal gyrus, STG)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、眶额叶皮层(orbitofrontal cortex, OFC)、ACC 等区域的功能链接,促使母亲更高效地感知、解读和响应婴儿的情绪需求。初级听觉皮层对婴儿哭声进行基础信号处理和识别。研究普遍发现,有生育经验的女性在 STG、PFC 及边缘系统对婴儿哭声表现出更强的神经响应(Parsons et al., 2017; Wright et al., 2017)。前额叶-边缘系统在保证母亲对婴儿情绪理解和情感共鸣的情况下,对母亲的情绪反应进行调节,并执行照护行为。奖赏动机回路为母性行为提供正反馈。同时,催产素、催乳素、多巴胺和内源性阿片类物质(endogenous opioids, EO)等神经分子通过情绪共鸣、压力调控和奖赏反馈机制,塑造了母性

行为的稳定性和敏感性。

3.1 婴儿哭声加工的神经网络基础

母亲对婴儿哭声的神经加工机制呈现多级处理特征。婴儿哭声首先激活的是母亲的初级听觉皮层,包括负责声音初步解析的颞横回(Heschl's gyrus)和 STG (Bornstein et al., 2017; 张火垠 等, 2019)。由于婴儿哭声的特异性,哭声比中性声音诱发更高的 STG 激活水平。fMRI 研究发现,有育儿经验的母亲 STG、SMA 及基底节在婴儿哭声的刺激下显著激活(Bornstein et al., 2017)。听觉皮层与 SMA 的功能连接增强,这使得接收到的听觉信号迅速转化为相应的运动反应,加速了母亲对婴儿哭声的知觉与反应(Waizman et al., 2024)。

随着育儿经验的积累,母亲对婴儿哭声的解读已不再局限于基础的听觉分析,更与情感共鸣、社会联结及动机驱动密切相关。与其他情绪声音相比,婴儿哭声特异性激活了后扣带回(posterior cingulate cortex, PCC)与岛叶,而笑声引发前辅助运动区(pre-SMA)更强的功能性连接。这说明长期养育经验改变了情绪效价评估和正向互动意图的相关脑区功能(Bornstein et al., 2017)。在长时间的育儿过程中,母亲大脑逐渐形成了一种将婴儿哭声与特定情绪状态(如焦虑、共情、照护动机)相耦合的神经表征模式,这帮助她们在婴儿啼哭时迅速做出适应性的情绪和行为反应(Laurent & Ablow, 2012; Swain et al., 2011)。例如,未育女性更倾向于将婴儿哭声视为压力源或厌恶信号,而母亲通常将其解读为需求信号(Laurent & Ablow, 2012; 张火垠 等, 2019)。此外,镜像神经元系统的额下回与颞上沟同步激活,保证了母亲能够模拟并理解婴儿的情绪状态(Kim et al., 2011; Swain et al., 2014)。

前额叶-边缘系统的功能连接增强是高级调控的关键神经基础。当母亲听到自己孩子哭声时,双侧杏仁核在显著激活后,随着注意力转移而活跃度逐渐下降(Firk et al., 2018)。这种依赖认知任务的激活模式与“养育脑”(parental brain)网络的配合密切相关(Feldman, 2015; Swain et al., 2014; 张火垠 等, 2019)。与未育女性相比,母亲在听到非特定婴儿哭声时表现出 PFC 活动的抑制。这说明随着育儿经验的累积,母亲的认知资源的分配逐渐优化(Bornstein et al., 2017)。研究发现,母亲即便在专注外部任务时,仍通过 DMN 中的内侧

前额叶皮层(medial prefrontal cortex, mPFC)与 PCC 的弱激活维持对婴儿哭声的后台监控(Rigo et al., 2019)。功能连接分析显示, 母亲组楔前叶与突显网络前岛叶、ACC 连接强度显著增强, 使脑网络能快速将资源从自我参照重分配至婴儿需求监控(Bornstein et al., 2017; Rigo et al., 2019)。这种神经特征可能反映母性大脑通过经验优化了注意资源分配策略, 允许在任务执行与婴儿需求监测间实现动态平衡。

fMRI 研究表明, 婴儿哭声引发中脑导水管周围灰质、右侧岛叶、OFC 以及 ACC-mPFC 等区域的协同工作(Laurent et al., 2011)。OFC 和 ACC 的激活水平与母亲对婴儿哭泣的敏感性呈正相关, 表明这些区域在母亲情绪调节中发挥了核心作用。背外侧前额叶(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC)通过增强对边缘系统的抑制性调控, 降低过度情绪唤醒, 而腹内侧前额叶(ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)通过评估婴儿哭声的情感效价, 并整合岛叶的生理唤醒信号(如心率升高)提升行为的响应(Bornstein et al., 2017; Kim et al., 2020; Laurent & Ablow, 2012)。这种跨区域协同作用使婴儿哭声能够迅速与社会性及情绪信息结合, 为母亲的照护决策提供基础(Bornstein et al., 2017; Ranote et al., 2004)。在奖赏-动机环路中, 杏仁核、腹侧纹状体和伏隔核将婴儿哭声转化为趋近动机(Atzil et al., 2011; Swain et al., 2014), 并通过多巴胺能系统的腹侧被盖区-纹状体通路强化奖赏动机(Kim et al., 2020; Swain et al., 2011), 确保母亲在最短时间内捕捉婴儿的情绪需求, 并迅速采取行动(Newman, 2007; Paul et al., 2019)。

育儿经验通过神经可塑性机制深度重塑了加工网络, 使母亲对婴儿哭声的感知、解读与响应更加高效。在熟悉的婴儿哭声的情境中, 前额叶-岛叶协同调控效能提升(Hiraoka et al., 2023), 伴随杏仁核-伏隔核连接强度的增强(Atzil et al., 2011)。这些神经适应性变化共同构建起从声学特征提取、情感意义赋予到行为决策输出的认知加工链条。跨文化研究表明, 尽管不同文化群体中婴儿哭声诱发的神经激活模式富有一致性, 但具体行为响应受社会规范的调节(Bornstein et al., 2017)。Bjertrup, Friis 等人(2021)的结果表明, 健康母亲的神经网络通过经验依赖性重塑优化了对婴儿信号的精细化处理。这种经验依赖的神经可

塑性机制, 将婴儿哭声从简单的听觉刺激转化为整合情感识别、社会联结和动机调控的复合神经信号, 从而奠定母性照护行为的神经生物学基础。然而, Giardino 等(2008)和 Landi 等人(2011)的研究发现, 青春期发育不成熟或药物滥用可能削弱母性神经网络的神经可塑性。Landi 等人(2011)通过 fMRI 对比了药物滥用和非药物滥用母亲对婴儿哭声和情绪面孔的神经反应。结果显示, 药物滥用母亲在 STG、dlPFC、mPFC 及边缘区域的激活强度普遍降低, 且在听到婴儿痛苦哭声时的神经反应显著减弱, 而这可能源于多巴胺与谷氨酸系统的奖赏通路受损(Landi et al., 2011)。值得注意的是, 多个研究均发现如杏仁核和海马旁回等边缘系统在母性反应中的核心地位, 说明情感评估系统的完整性是母性适应的关键。

3.2 神经内分泌基础

催产素在对婴儿声音的认知处理中起着重要作用。催产素水平在孕期逐渐升高, 并在分娩时达到峰值。催产素的升高改善了 OFC 和 STG 之间的功能连接(Swain et al., 2011), 也可能有助于对婴儿听觉线索的认知处理。因此, 母亲对婴儿哭声特征的神经解码更加准确。此外, 催产素和催乳素可增加 PFC 和杏仁核之间的功能连接, 从而改善母亲对负面情绪的感知和移情反应(Kim et al., 2011)。

目前, 大多数研究集中于多巴胺和催产素系统在母婴互动中的作用, 而对 5-羟色胺(5-hydroxytryptamine, 5-HT)和内源性阿片类物质的关注不够。动物模型研究表明, 5-HT 通过前额叶-边缘回路调节母性行为中的情绪唤醒和社会互动能力(陈磊磊 等, 2017; Hurley & Hall, 2011), 而内源性阿片类物质则与母婴依恋中的镇痛效应和愉悦体验密切相关。目前已有研究提出了两个内源性阿片类物质参与的神经内分泌系统——皮质醇-内源性阿片类物质压力调节系统和多巴胺-内源性阿片类物质动机奖赏系统。婴儿哭声作为一种典型的听觉压力源, 通过适度升高 CORT 水平来加速神经网络的重组, 从而提高反应效率(Feldman et al., 2007)。作为一种保护机制, 内源性阿片类物质抑制 HPA 轴来维持 CORT 稳定, 防止长时间或高水平的 CORT 损害前额叶-杏仁核功能, 引发情绪失调(杨瑜 等, 2020)。与此同时, 掌管“想要”(wanting)机制的多巴胺系统被婴儿听觉线索触发。而当母亲完成照料行为后, 内源性

阿片类物质的“喜欢”(liking)机制通过 OFC 和 ACC 介导愉悦体验,实现正性情绪强化(Nguyen et al., 2021)。这样,内源性阿片类物质不仅能减轻长期压力造成的神经损伤,还能与多巴胺奖赏信号协同作用,增强母性行为的持续性和敏感性(Smith et al., 2011)。然而,关于这两个系统在人类母婴群体中的具体作用模式,仍然存在研究空白。目前还没有研究系统地探讨了 5-HT 在母亲对婴儿哭声的早期感知处理中的神经调节作用,也缺乏行为学和脑成像证据证明 5-HT 对母婴情绪同步过程的影响。此外,尽管此前的研究通过疼痛诱导安慰剂效应范式证实了多巴胺-内源性阿片类物质系统在奖赏动机通路中的协同作用(Scott et al., 2008),母亲对婴儿特定听觉线索的加工究竟如何触发类似安慰剂效应的大脑激活模式还有待未来研究结合脑成像技术加以阐明。

更值得注意的是,关于这种基于听觉线索的动机-奖赏神经机制,在进化和发展方面存在重要争议。从进化发展的角度来看,灵长类研究观察到母婴对声音的偏好,这表明该机制可能有先天的神经基础,如听觉皮层对婴儿声音的特异性编码(Newman, 2007);然而,人类学研究发现,新生母亲和经验丰富母亲对婴儿声音的神经反应上存在可塑性差异,社会文化期望显著增强了前脑岛和腹侧纹状体的激活(Bornstein et al., 2017)。这表明,获得的经验可能会通过自上而下的调节途径重塑神经奖赏系统。要解答这一基本问题,需要一个跨学科范式,通过比较来自未育女性、新手母亲和代理母亲的多模态数据,并结合遗传表现和养育环境变量,解构母婴听觉纽带中先天神经倾向和社会学习效应之间的动态相互作用。

4 母婴协同适应的认知重组机制

婴儿的哭声和笑声作为重要的听觉线索,是她们在发展出语言能力之前与外界交流的一种方式。婴儿哭声之所以独特,不仅在于其区别于其他哭声的独特声学特征,更因为哭声中包含了对婴儿健康生存尤为重要的需求信息。作为主要照料者的母亲往往可以迅速察觉并回应婴儿哭声。这看似本能的照料行为其实依赖于对听觉线索的加工和重要心理功能。母亲对婴儿听觉线索知觉和加工的改变根本上源于大脑的神经可塑性。

成熟的女性在怀孕和生产期间,因为体内激素(催产素、催乳素、雌激素等)的改变,使得大脑和心理功能得到重组(Duarte-Guterman et al., 2019)。在此重组的过程中,母亲对婴儿听觉线索的认知加工方式发生改变。生育经验使得女性对婴儿哭声线索变得敏感,注意力更具倾向性,情感投入更强烈。婴儿哭声驱动母亲照料行为的产生,而母亲对婴儿的养育行为又会刺激新一轮的激素和神经递质的产生和释放,对母性行为进行奖赏,形成正反馈循环。这些心理功能的变化,有助于母亲更有效地回应婴儿的需求。从进化心理学的角度而言,这样的心理变化不仅促进了母性行为的正常启动和表现,相应地提高了婴儿的存活概率,还可以反应母亲产后的心理健康情况。研究发现,对婴儿哭声的更消极评价与产后抑郁症风险的增加相关,因此,怀孕期间对婴儿哭声的消极偏向可能预示着对产后抑郁症的易感性(Bjertrup, Jensen, et al., 2021)。

与照料婴儿相关的心理功能得到提高,与婴儿无关的认知活动受到抑制,这一现象基本符合认知重组理论(Cognitive Reorganization; Anderson & Rutherford, 2012)。尽管一些研究指出孕期可能出现轻微的记忆力下降,但 Anderson 和 Rutherford (2012)强调,这种变化并非整体性的认知功能下降,而是认知资源的重新分配,优先支持能直接参与或调节与育儿相关的任务,如情绪识别、社交互动和威胁感知,间接提升母性行为。概括而言,生育经验导致的激素变化会引发母亲大脑结构与功能的适应性重组。这种神经可塑性的改变增强了母亲对婴儿听觉线索的敏感性、注意偏向以及情绪反应,并有效激活与母性行为相关的神经回路。同时,神经递质的积极反馈机制进一步强化了母亲的照料动机。此外,社会文化对母职角色的期待与规范不仅影响母亲的认知加工与养育行为,还能够在脑功能激活模式中体现出来。当然,脑功能改变和认知重组并非单纯出于母亲为后代的无私奉献。神经内分泌的调节也从不同的通路保证了母亲在长期照料子代时不会产生神经功能受损或者心理功能异常。因此,认知重组理论表明,母性相关的神经可塑性和认知重构共同优化养育行为,并双向促进母婴健康。

5 总结与展望

本文从婴儿听觉线索的声学特征入手,介绍了婴儿哭声和笑声作为人类早期的交流信号,如何区别于其他听觉信号,并引发成人的特殊反应。为了研究成人对婴儿哭声的心理加工过程,研究者们使用经典的认知实验范式,以婴儿哭声作为主要刺激或干扰材料,对婴儿哭声涉及的心理过程进行研究。本文聚焦于婴儿哭声诱发的母性心理加工过程及其神经-内分泌基础,揭示生育经验通过神经可塑性和激素调节增强母亲对哭声的敏感性。母亲对婴儿哭声的知觉敏感性增强,其神经基础在于 STG 与前额叶-边缘系统的协同激活(Corvin et al., 2022; Bornstein et al., 2017)。母亲的注意调控能力优化,在外部情景干扰下母亲仍能维持对婴儿哭声的注意(Rigo et al., 2019),育儿经验的积累也使得前额叶-杏仁核功能连接增强,减少注意干扰效应(Hiraoka et al., 2023)。母亲对婴儿的情绪共鸣也得以强化,婴儿哭声引发母亲 OFC、ACC 及奖赏环路的激活,同时催产素与多巴胺系统增强情绪评估与动机驱动,以促进母亲的照顾行为(Kim et al., 2020; Swain et al., 2011)。

生育经验引发了母亲大脑的认知重组。大脑灰质体积呈现 U 型变化(Hoekzema et al., 2017), DMN 资源倾斜于关注婴儿需求(Rigo et al., 2019),多巴胺-内源性阿片类物质系统的奖赏-动机环路通过正反馈强化母性行为(Scott et al., 2008)。这一过程符合“进化的认知重组理论”,即大脑通过功能再分配优先保障母婴互动效能——前额叶抑制非必要认知活动,边缘系统精细化情绪评估,听觉-运动通路加速知觉到行为的转化。

虽然现有研究揭示了生育经验对婴儿听觉线索加工的神经-内分泌调控机制,但多系统协同作用的理论框架仍需进一步验证与拓展。基于本综述所提出“进化的认知重组理论”,未来研究可从以下方向深化母性行为的多系统协同机制。

第一,当前研究多采用单一线索,实际却难以反映真实育儿场景中多通道线索整合的复杂性。未来研究可以结合虚拟现实技术,同步采集母婴互动中的婴儿哭声、面部表情及触觉反馈数据,构建生态效度更高的多模态实验范式。结合 fMRI 解析前额叶-边缘-奖赏网络的动态协作机

制。例如,通过计算建模量化 OFC 在多通道情绪信息的整合权重,明确其在母婴互动中的评估-决策功能(Swain et al., 2014)。

第二,现有研究多考察单一系统(仅测量激素水平或脑区激活),难以解释催产素、多巴胺如何通过前额叶-边缘网络来驱动母性行为。未来可结合功能性近红外光谱成像超扫描技术与多时间点激素检测,记录母婴互动中神经同步性与催产素、多巴胺水平的变化,分析神经同步性与激素浓度的时序关联,探究二者对母性行为的联合调控机制。

第三,母性行为的适应性涉及内分泌-神经-行为的多级协同,但现有证据仍呈现碎片化特征,未有系统性的解释。未来仍需结合遗传表观、神经影像与行为观测数据,揭示关键分子多态性(如催产素受体基因 OXTR、多巴胺 D2 受体)如何通过调节杏仁核-伏隔核功能连接而导致的个体差异(Kim et al., 2020)。此外,可通过药理学干预——例如鼻喷催产素联合多巴胺阻断剂——调控奖赏区域的活动。如此可进一步明确不同脑系统在母性动机生成中的时序性作用(Landi et al., 2011; 杨瑜 等, 2020)。

尽管科学家们早在上世纪就从心理物理学角度研究婴儿听觉线索的声学特征,并探讨生育经验对母亲听觉加工的影响,但这一领域仍有巨大的探索空间。母亲对婴儿哭声和笑声的心理加工过程不仅决定了母婴互动的质量,更是预测与诊断产后情感障碍的关键窗口。深入研究这一过程,有助于揭示生育经验如何塑造大脑的结构与功能,为理解大脑可塑性和情感障碍干预提供重要理论支持,具有深远的临床与社会意义。

参考文献

- 陈磊磊, 聂莉娜, 李钰, 程鹏, 李鸣, 高军. (2017). 五羟色胺系统对母性行为的调控及其机制. *心理科学进展*, 25(12), 2089-2098.
- 李想, 郑涌, 孟现鑫, 李鹏, 李红. (2013). 成人对婴儿哭声的反应及其脑机制. *心理科学进展*, 21(10), 1770-1779.
- 杨瑜, 李鸣, 陈红. (2020). 母性应激对母性行为和心理功能的影响. *心理科学进展*, 28(1), 128-140.
- 张火垠, 张明明, 丁瑞, 李帅霞, 罗文波. (2019). “养育脑”网络及其影响因素. *心理科学进展*, 27(6), 1072-1084. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1042.2019.01072>
- Anderson, M. V., & Rutherford, M. D. (2012). Cognitive reorganization during pregnancy and the postpartum period:

- An evolutionary perspective. *Evolutionary Psychology*, 10(4), 659–687. <https://doi.org/10.1177/147470491201000402>
- Atzil, S., Hendler, T., & Feldman, R. (2011). Specifying the neurobiological basis of human attachment: Brain, hormones, and behavior in synchronous and intrusive mothers. *Neuropsychopharmacology*, 36(13), 2603–2615. <https://doi.org/10.1038/npp.2011.172>
- Bjertrup, A., Friis, N., Væver, M., & Miskowiak, K. (2021). Neurocognitive processing of infant stimuli in mothers and non-mothers: Psychophysiological, cognitive and neuroimaging evidence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(4), 428–438. <https://doi.org/10.1093/scan/nsab002>
- Bjertrup, A., Jensen, M. B., Schjødt, M. S., Kjærbye-Thygesen, A., Væver, M. S., Mikkelsen, R. L., ... Miskowiak, K. W. (2021). Hormones, emotional processing and prepartum attachment in pregnant women with affective disorders. *European Neuropsychopharmacology*, 42, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.euroneuro.2018.11.583>
- Bornstein, M. H., Putnick, D. L., Rigo, P., Esposito, G., Swain, J. E., Suwalsky, J. T. D., ... Venuti, P. (2017). Neurobiology of culturally common maternal responses to infant cry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(45), E9465–E9473. <https://doi.org/10.1073/pnas.1712022114>
- Bouchet, H., Plat, A., Levréro, F., Reby, D., Patural, H., & Mathevon, N. (2020). Baby cry recognition is independent of motherhood but improved by experience and exposure. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1921), 20192499. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2499>
- Cacace, A. T., Robb, M. P., Saxman, J. H., Risemberg, H., & Koltai, P. (1995). Acoustic features of normal-hearing pre-term infant cry. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 33(3), 213–224. [https://doi.org/10.1016/0165-5876\(95\)01211-7](https://doi.org/10.1016/0165-5876(95)01211-7)
- Corvin, S., Fauchon, C., Peyron, R., Reby, D., & Mathevon, N. (2022). Adults learn to identify pain in babies' cries. *Current Biology*, 32(15), R824–R825. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.06.076>
- De Pisapia, N., Bornstein, M. H., Rigo, P., Esposito, G., De Falco, S., & Venuti, P. (2013). Sex differences in directional brain responses to infant hunger cries. *NeuroReport*, 24(3), 142–146. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32835df4fa>
- Duarte-Guterman, P., Leuner, B., & Galea, L. A. M. (2019). The long and short term effects of motherhood on the brain. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 53, 100740. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2019.02.004>
- Dudek, J., Faress, A., Bornstein, M. H., & Haley, D. W. (2016). Infant cries rattle adult cognition. *PLoS ONE*, 11(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154283>
- Feldman, R. (2015). The adaptive human parental brain: Implications for children's social development. *Trends in neurosciences*, 38(6), 387–399. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2015.04.004>
- Feldman, R., Weller, A., Zagoory-Sharon, O., & Levine, A. (2007). Evidence for a neuroendocrinological foundation of human affiliation: Plasma oxytocin levels across pregnancy and the postpartum period predict mother-infant bonding. *Psychological Science*, 18(11), 965–970. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02010.x>
- Firk, C., Dahmen, B., Lehmann, C., Herpertz-Dahlmann, B., & Konrad, K. (2018). Down-regulation of amygdala response to infant crying: A role for distraction in maternal emotion regulation. *Emotion*, 18(3), 412–423. <https://doi.org/10.1037/emo0000373>
- Giardino, J., Gonzalez, A., Steiner, M., & Fleming, A. S. (2008). Effects of motherhood on physiological and subjective responses to infant cries in teenage mothers: A comparison with non-mothers and adult mothers. *Hormones and Behavior*, 53(1), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.09.010>
- Gustafsson, E., Levréro, F., Reby, D., & Mathevon, N. (2013). Fathers are just as good as mothers at recognizing the cries of their baby. *Nature Communications*, 4(1), 1698. <https://doi.org/10.1038/ncomms2713>
- Hechler, C., Beijers, R., & de Weerth, C. (2015). Young adults' reactions to infant crying. *Infant Behavior and Development*, 38, 41–48. <https://doi.org/10.1016/J.INFBEH.2014.12.006>
- Hiraoka, D., Makita, K., Sakakibara, N., Morioka, S., Orisaka, M., Yoshida, Y., & Tomoda, A. (2023). Longitudinal changes in attention bias to infant crying in primiparous mothers. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 17, 1192275. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2023.1192275>
- Hoekzema, E., Barba-Müller, E., Pozzobon, C., Picado, M., Lucco, F., García-García, D., ... Vilarroya, O. (2017). Pregnancy leads to long-lasting changes in human brain structure. *Nature Neuroscience*, 20(2), 287–296. <https://doi.org/10.1038/nn.4458>
- Hurley, L. M., & Hall, I. C. (2011). Context-dependent modulation of auditory processing by serotonin. *Hearing Research*, 279(1-2), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2010.12.015>
- Kim, P., Feldman, R., Mayes, L. C., Eicher, V., Thompson, N., Leckman, J. F., & Swain, J. E. (2011). Breastfeeding, brain activation to own infant cry, and maternal sensitivity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 52(8), 907–915. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2011.02406.x>
- Kim, P., Rigo, P., Mayes, L. C., Feldman, R., Leckman, J. F., & Swain, J. E. (2014). Neural plasticity in fathers of human infants. *Social Neuroscience*, 9(5), 522–535. <https://doi.org/10.1080/17470919.2014.933713>
- Kim, P., Tribble, R., Olsavsky, A. K., Dufford, A. J., Erhart, A., Hansen, M., ... Gonzalez, D. M. (2020). Associations between stress exposure and new mothers' brain responses to infant cry sounds. *NeuroImage*, 223, 117360. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117360>
- LaGasse, L. L., Neal, A. R., & Lester, B. M. (2005). Assessment of infant cry: Acoustic cry analysis and parental

- perception. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11(1), 83–93. <https://doi.org/10.1002/MRDD.20050>
- Landi, N., Montoya, J., Kober, H., Rutherford, H. J., Mencl, W. E., Worhunsky, P. D., ... Mayes, L. C. (2011). Maternal neural responses to infant cries and faces: Relationships with substance use. *Frontiers in psychiatry*, 2, 32. <https://doi.org/10.3389/FPSYT.2011.00032/BIBTEX>
- Landman, A., Ngameni, E. G., Dubreucq, M., Dubreucq, J., Tebeka, S., & Dubertret, C. (2024). Postpartum blues: A predictor of postpartum depression, from the IGEDEPP Cohort. *European Psychiatry*, 67(1), e30. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2024.1741>
- Laurent, H. K., & Ablow, J. C. (2012). A cry in the dark: Depressed mothers show reduced neural activation to their own infant's cry. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(2), 125–134. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq091>
- Laurent, H. K., Stevens, A., & Ablow, J. C. (2011). Neural correlates of hypothalamic-pituitary-adrenal regulation of mothers with their infants. *Biological Psychiatry*, 70(9), 826–832. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.06.011>
- Leerkes, E. M., Bailes, L., Swinger, M. M., Augustine, M. A., & Norcross, P. L. (2021). A comprehensive model of women's social cognition and responsiveness to infant crying: Integrating personality, emotion, executive function, and sleep. *Infant Behavior and Development*, 64, 101577. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2021.101577>
- Leerkes, E., Sommers, S., & Bailes, L. (2022). The validity of prenatal assessments of mothers' emotional, cognitive, and physiological reactions to infant cry. *Parenting: Science and Practice*, 22(4), 286–314. <https://doi.org/10.1080/15295192.2021.1975122>
- Lévy, F. (2016). Neuroendocrine control of maternal behavior in non-human and human mammals. *Annales d'Endocrinologie*, 77(2), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2016.04.002>
- Lockhart-Bouron, M., Anikin, A., Pisanski, K., Corvin, S., Comec, C., Papet, L., ... Mathevon, N. (2023). Infant cries convey both stable and dynamic information about age and identity. *Communications Psychology*, 1(1), 26. <https://doi.org/10.1038/s44271-023-00022-z>
- Markon, K. E., Brunette, C. A., Whitney, B. M., & O'Hara, M. W. (2021). Mood during pregnancy: Trends, structure, and invariance by gestational day. *Journal of Psychiatric Research*, 140, 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.06.006>
- Maupin, A. N., Rutherford, H. J. V., Landi, N., Potenza, M. N., & Mayes, L. C. (2019). Investigating the association between parity and the maternal neural response to infant cues. *Social Neuroscience*, 14(2), 214–225. <https://doi.org/10.1080/17470919.2017.1422276>
- Newman, J. D. (2007). Neural circuits underlying crying and cry responding in mammals. *Behavioural Brain Research*, 182(2), 155–165. <https://doi.org/10.1016/J.BBR.2007.02.011>
- Nguyen, D., Naffziger, E. E., & Berridge, K. C. (2021). Positive affect: Nature and brain bases of liking and wanting. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 39, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2021.02.013>
- Parsons, C. E., Young, K. S., Petersen, M. V., Jegindoe, Elmholdt, E. M., Vuust, P., Stein, A., ... Kringelbach, M. L. (2017). Duration of motherhood has incremental effects on mothers' neural processing of infant vocal cues: A neuroimaging study of women. *Scientific Reports*, 7(1), 1727. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01776-3>
- Paul, S., Austin, J., Elliott, R., Ellison-Wright, I., Wan, M. W., Drake, R., ... Abel, K. M. (2019). Neural pathways of maternal responding: Systematic review and meta-analysis. *Archives of Women's Mental Health*, 22(2), 179–187. <https://doi.org/10.1007/s00737-018-0878-2>
- Pérez-Hernández, M., Hernández-González, M., Hidalgo-Aguirre, R. M., Guevara, M. A., Amezcua-Gutiérrez, C., & Sandoval-Carrillo, I. K. (2021). Multiparity decreases the effect of distractor stimuli on a working memory task: An EEG study. *Social Neuroscience*, 16(3), 281–292. <https://doi.org/10.1080/17470919.2021.1899048>
- Ranote, S., Elliott, R., Abel, K. M., Mitchell, R., Deakin, J. F. W., & Appleby, L. (2004). The neural basis of maternal responsiveness to infants: An fMRI study. *NeuroReport*, 15(11), 1825–1829. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000137078.64128.6a>
- Rigo, P., Esposito, G., Bornstein, M. H., De Pisapia, N., Manzardo, C., & Venuti, P. (2019). Brain processes in mothers and nulliparous women in response to cry in different situational contexts: A default mode network study. *Parenting*, 19(1-2), 69–85. <https://doi.org/10.1080/15295192.2019.1555430>
- Scott, D. J., Stohler, C. S., Egnatuk, C. M., Wang, H., Koeppe, R. A., & Zubietta, J. K. (2008). Placebo and nocebo effects are defined by opposite opioid and dopaminergic responses. *Archives of General Psychiatry*, 65(2), 220–231. <https://doi.org/10.1001/ARCHGENPSYCHIATRY.2007.34>
- Servin-Barthet, C., Martínez-García, M., Pretus, C., Paternina-Die, M., Soler, A., Khymenets, O., ... Carmona, S. (2023). The transition to motherhood: Linking hormones, brain and behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, 24(10), 605–619. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00733-6>
- Smith, K. S., Berridge, K. C., & Aldridge, J. W. (2011). Disentangling pleasure from incentive salience and learning signals in brain reward circuitry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(27), E255–264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101920108>
- Swain, J. E., & Ho, S. H. S. (2017). Neuroendocrine mechanisms for parental sensitivity: Overview, recent advances and future directions. *Current Opinion in Psychology*, 15, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.02.027>
- Swain, J. E., Kim, P., & Ho, S. S. (2011). Neuroendocrinology of parental response to baby-cry. *Journal of Neuroendocrinology*, 23(11), 1036–1041. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2826.2011.>

- 02212.x
- Swain, J. E., Kim, P., Spicer, J., Ho, S. S., Dayton, C. J., Elmadih, A., & Abel, K. M. (2014). Approaching the biology of human parental attachment: Brain imaging, oxytocin and coordinated assessments of mothers and fathers. *Brain Research*, 1580, 78–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.03.007>
- Waizman, Y., Herschel, E., Cárdenas, S. I., Vaccaro, A. G., Aviv, E. C., Sellery, P. E., ... Saxbe, D. E. (2024). Neural correlates of inhibitory control in the context of infant cry and paternal postpartum mental health. *Behavioural Brain Research*, 465, 114947. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2024.114947>
- Wright, D. B., Laurent, H. K., & Ablow, J. C. (2017). Mothers who were neglected in childhood show differences in neural response to their infant's cry. *Child Maltreatment*, 22(2), 158–166. <https://doi.org/10.1177/1077559516683503>
- Yoo, H., Buder, E. H., Bowman, D. D., Bidelman, G. M., & Kimbrough Oller, D. (2019). Acoustic correlates and adult perceptions of distress in infant speech-like vocalizations and cries. *Frontiers in Psychology*, 10, 1154. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2019.01154>

Impacts of reproductive experience on mental processing of infant auditory cues

WANG Xinyue, YOU Liandong, LI Ming

(Department of Psychology, School of Social and Behavioral Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Mothers, especially human mothers, are extremely sensitive to unique acoustic features, emotional valence, and survival cues contained in infant cries and laughter. This article reviews studies on how reproduction alters a mother's perceptual sensitivity, attention allocation, and emotional processing of infant cries, focusing on various behavioral paradigms based on infant crying stimuli that have been employed in this line of research. Mothers have significantly better perceptual, attentional and emotional processing of infant cries and laughter than non-mothers. Greater activation has been observed in mothers than nonmothers in the multi-layered neural networks, including primary auditory cortex and prefrontal-limbic system. Neurochemical signals, such as oxytocin and dopamine, and sociocultural factors, such as parenting experience and cultural differences are found to be important modulators of mother's psychological functions. Existing findings support the cognitive reorganization theory, suggesting that brain structure and functions are reorganized to serve mothering behaviors to promote the inclusive fitness of the mother and the young. Future studies need to adopt multimodal designs to distinguish psychological functions to better understand underlying neural mechanisms.

Keywords: infant auditory cues, reproductive experience, maternal behavior, neuroendocrine mechanisms, cognitive reorganization theory