

脑科学视角下的儿童早期发展

杨琳

西安交通大学第二附属医院儿科, 陕西 西安 710004

摘要: 脑科学作为研究神经系统结构、功能及发育规律的综合性学科, 为理解人类认知、情绪和行为提供了重要理论基础。脑科学研究的快速发展为理解儿童健康发展提供了全新的视角。本文系统探讨了脑科学与儿童健康发展的内在联系, 重点关注 0~6 岁关键期的脑发育特征及其影响因素。儿童脑健康发展的研究揭示了神经发育与环境互动的复杂性。未来需整合多学科成果, 开发基于脑科学的干预策略, 为儿童创造最优成长环境。

关键词: 脑科学; 儿童发展; 神经可塑性; 执行功能; 睡眠; 数字技术

中图分类号: R179 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-6579(2025)06-0593-04 **doi:** 10.11852/zgetbjzz2025-0519

Neuroscience perspective on early childhood development

YANG Lin

Department of Pediatric, The Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710004, China

Abstract: Neuroscience, as a comprehensive discipline that studies the structure, function, and developmental patterns of the nervous system, provides a critical theoretical foundation for understanding human cognition, emotions, and behavior. The rapid advancements in neuroscience research have offered fresh perspectives on child health and development. This paper systematically explores the intrinsic connections between neuroscience and child health development, with a particular focus on the characteristics of brain development and its influencing factors during the critical period of 0 - 6 years. Research on children's brain health development reveals the complexity of the interaction between neural development and environmental factors. Moving forward, it is essential to integrate multidisciplinary findings and develop neuroscience-based intervention strategies to create an optimal growth environment for children.

Keywords: neuroscience; childhood development; neuroplasticity; executive function; sleep; digital technique

脑科学作为一门研究神经系统结构、功能及发育规律的综合性学科, 在医学领域对众多学科都有深远的影响。从分子层面的神经递质研究(如荧光探针技术对神经递质成像的应用)到宏观层面的脑功能网络分析(如功能性脑网络的动态重组与认知过程的关系), 脑科学为理解人类认知、情绪和行为提供了重要的理论基础。儿童健康发展是一个多维度的概念, 不仅包括生理机能的正常发育, 还涵盖认知能力、情绪调节和社会适应等心理社会功能的协调发展。这一理念的形成经历了漫长的演变过程, 从最初单纯关注体格发育到如今强调“生物-心理-社会”医学模式的整体健康观, 健康发展的全面性越来越受到关注。

儿童时期是大脑发育最为关键的阶段。在这一时期, 大脑表现出惊人的可塑性, 神经元的突触连接以惊人的速度形成和重塑。但神经发育是具有时序性的, 视觉系统在出生后 6 个月内具有最强的可塑性^[1], 而执行功能的发展则持续到青春期^[2], 这决定了不同能力发展的关键期。而环境因素对儿童早期

发展在神经生物学层面产生不同程度的影响, 又为早期干预提供了科学依据。脑科学与多学科的交叉融合, 将为研究者探索“大脑功能的奥秘”提供新视角。

1 早期脑发育的关键时期

学龄前期是大脑发育的黄金时期, 这一阶段的神经发育特征及其影响因素备受研究者关注。不同脑区的发育呈现出明显的时序差异。初级感觉运动区的髓鞘化在出生后第一年就基本完成, 而前额叶皮层的髓鞘化则要持续到 20 岁左右^[3]。这种发育的异质性解释了儿童要发展学习能力——这一高级认知功能, 必须建立在感知觉运动能力发展完善的基础上。3~6 岁期间默认模式网络和注意控制网络的功能连接显著增强, 这为执行功能的发展奠定了神经基础^[3]。

这一时期最显著的特点是突触的爆发性生长和后续的修剪过程。研究表明, 大脑皮层的突触密度在 2~3 岁时达到峰值, 随后通过选择性修剪逐渐优

化^[4]。这一过程受到基因和环境因素的共同调控,为环境刺激提供了充分的神经可塑性基础,因此环境刺激在此过程中尤为重要。

早期社交互动能显著促进心理发展、语言发育,帮助儿童逐渐理解他人意图和信念。早期的社交互动主要体现在儿童与照料者的互动模式上,亲子互动能够激活儿童颞上沟、前扣带回等区域的“社会脑”网络,促进心理理论能力的发展^[5]。互动中的语言刺激会永久性地塑造听觉皮层的表征模式。早期逆境带来的慢性应激,如贫困、家庭暴力、严重剥夺等不仅可以通过神经可塑性影响儿童未来的行为模式,还能通过表观遗传机制改变基因表达,导致海马体积缩小及皮质变薄,最终损伤认知功能^[6-7]。故而在生命早期为儿童提供积极、支持性环境及高质量的早期教育能改善儿童脑发育,其效果可持续至成年期。

2 执行功能与学习能力的脑神经生理机制

执行功能作为高级认知功能的核心组成部分,在儿童发展中扮演着关键角色。

工作记忆、抑制控制和认知灵活性是执行能力的三个核心成分^[8]。执行能力使儿童专注于当前任务所需的信息处理,并能抑制无关信息的干扰,同时可随着任务需要在不同规则或思维模式甚至任务之间灵活切换。其受到多巴胺、 γ -氨基丁酸、谷氨酸等神经递质调节,但由于髓鞘化不完善以及神经递质系统尚未成熟,执行功能呈现出清晰的阶段性特征:抑制控制在 3~5 岁快速提升,工作记忆在学龄期显著改善,而任务切换能力则要到青春期才能完全成熟^[9]。执行功能训练的基础是大脑结构和功能的可塑性。执行功能训练引发了大脑网络之间连接模式的变化。工作记忆训练可以增加大脑灰质体积以及结构网络的改变。而抑制控制训练在引发前额叶活动水平变化的同时,还发现右侧前额叶的灰质体积增加及右侧额下回白质结构的改变^[10]。

学习能力是一个更为综合的概念,涉及感知、记忆、推理等多种认知过程的协调运作^[11]。神经教育学研究揭示了阅读习得的脑机制:最初依赖一般的视觉加工区域,随着熟练度提高,逐渐形成专门化的“文字盒子区”,即视觉词形区(visual word form area, VWFA)^[12]。这些研究发现对教育实践具有重要启示,例如强调基础算术训练对发展数量感的重要性。

当执行功能或学习能力出现损害时,往往会表现出特定的行为特征。如注意缺陷多动障碍(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD)儿童典

型表现为注意持续性差、行为抑制困难,fMRI 研究显示其前额叶皮层激活不足,纹状体多巴胺信号传导异常^[13]。学习障碍儿童则表现出特定领域的困难,如阅读障碍者左侧颞顶区激活减弱,计算障碍者顶内沟功能连接异常^[14-15]。这些发现不仅深化了人们对障碍机制的理解,也为靶向干预提供了方向。

值得注意的是,执行功能与学习能力之间存在复杂的相互作用。例如,工作记忆容量直接影响解决数学问题的能力,而抑制控制缺陷则可能导致阅读时的注意力分散^[16]。这种交互作用提示,综合性的认知训练可能比单一技能训练更具效果。近期的研究开始探索计算机化认知训练的效果,初步结果显示其对改善 ADHD 儿童的症状具有一定潜力^[17],但长期效果仍需进一步验证。

3 情绪和社会认知发展的脑科学机制

情绪和社会能力的发展有其独特的神经基础。从进化角度看,边缘系统作为大脑最古老的部分,构成了情绪加工的神经基础。经典研究阐明了恐惧反应的神经通路:感觉信息经丘脑快速传递至杏仁核,产生即时情绪反应,同时通过皮层通路进行精细评估^[18]。这种双重通路解释了为什么情绪反应往往先于理性思考。在儿童期,随着前额叶皮层的逐渐成熟,儿童对情绪的调节能力也不断增强。

社会认知的发展涉及更为复杂的神经网络。Firth^[19]提出的“社会脑”概念包括内侧前额叶皮层、颞顶交界区等多个区域,这些区域共同支持心理理论能力的发展。镜像神经元的发现为理解社会学习提供了新视角,这些神经元在观察他人动作时也会激活,可能是共情和模仿学习的神经基础^[20]。研究发现,3~5 岁是心理理论能力快速发展的时期,这与相关神经网络的成熟密切相关^[21]。

神经内分泌系统在社会行为调节中也起着重要作用。研究表明,催产素能够增强人际信任,这解释了亲子依恋的生物学基础^[22]。相反,早期社会剥夺会导致下丘脑-垂体-肾上腺轴功能紊乱^[23],影响终身的应激反应模式。这些发现强调了早期社会经验对神经发育的深远影响。

最新研究开始关注社会认知的个体差异及其神经机制。孤独症谱系障碍儿童表现出“社会脑”网络的功能连接异常,而社交焦虑则与杏仁核过度反应有关^[24]。这些发现不仅有助于理解病理机制,也为开发针对性干预措施提供了方向。值得注意的是,社会情绪学习项目(如 CASEL 模型)已被证明能够有效改善儿童的情绪调节和社会能力,这体现了脑

科学研究向教育实践的转化。

4 睡眠与脑健康

睡眠对儿童脑健康非常重要。从神经生物学角度看,睡眠是一个高度活跃的过程,对大脑发育和功能维持具有多重作用。研究表明,慢波睡眠期间大脑会加强突触连接,而快速眼动睡眠则促进记忆的整合和重组^[25]。在儿童期,睡眠还承担着特殊的发育功能:促进髓鞘形成和突触修剪^[26]。这些过程对神经网络的优化至关重要。睡眠的神经机制研究取得了重要进展。脑干网状结构通过调节多种神经递质系统(包括乙酰胆碱、去甲肾上腺素等)控制睡眠-觉醒周期^[27]。下丘脑视交叉上核作为生物钟的中枢,协调昼夜节律^[28]。这些系统的平衡对维持正常睡眠至关重要。在儿童期,松果体分泌的褪黑素在调节睡眠时间方面起着关键作用,这解释了为什么青春期褪黑素分泌延迟会导致睡眠相位后移。

睡眠不足对儿童的影响是多方面的。认知神经科学研究显示,睡眠剥夺会导致前额叶皮层功能受损,表现为注意力下降和冲动性增加^[29]。长期睡眠不足还会影响海马依赖的记忆巩固过程^[30]。情绪调节方面,睡眠不足与杏仁核反应性增强和前额叶调控减弱有关,这可能导致情绪不稳定^[31]。流行病学研究也发现,儿童期睡眠问题与日后心理健康问题(如抑郁和焦虑)存在显著关联^[32]。常见的儿童睡眠障碍包括失眠、睡眠呼吸暂停和昼夜节律紊乱等。这些障碍往往伴有特征性的神经改变,例如,阻塞性睡眠呼吸暂停儿童表现出前额叶灰质减少,这与其注意力和执行功能缺陷相符^[33]。治疗方面,认知行为疗法对儿童失眠有显著效果,而持续气道正压通气则能改善睡眠呼吸暂停儿童的认知功能^[34]。这些干预措施的效果进一步证实了睡眠与脑功能的密切关系。

5 数字技术的影响

数字技术的普及对儿童发展的影响已成为备受关注的研究课题。认知神经科学研究开始揭示屏幕时间影响大脑发育的具体机制。首先,数字媒体的多任务特性可能导致注意力系统的适应性改变。研究发现,媒体任务特别多的儿童表现出前扣带回和额极区的灰质密度降低,这些区域与注意力控制密切相关^[35]。其次,电子设备发出的蓝光会抑制褪黑素分泌,干扰昼夜节律^[36],这可能是屏幕时间与睡眠问题关联的机制之一。

语言发展方面,研究发现了令人担忧的趋势。研究表明,2岁前较长的屏幕暴露时间与3岁时的

语言发育迟缓显著相关^[37]。这可能是因为屏幕时间挤占了亲子互动时间,而后者对语言发展至关重要。神经影像学研究显示,丰富的语言环境促进左侧颞叶的语言网络发展,而被动观看屏幕则无法提供这种神经刺激^[38]。

社会情绪发展也受到数字技术的影响。研究发现,过度使用社交媒体与青少年抑郁、焦虑等情绪问题的增加有关^[39]。可能的机制包括:社会比较导致的负面自我评价,以及面对面社交减少导致的社交技能缺陷。神经生物学研究显示,社交媒体使用会激活奖赏回路(包括腹侧纹状体),可能强化对虚拟社交的依赖^[40]。然而,数字技术并非只有负面影响。教育神经科学研究发现,设计良好的教育软件可以促进特定认知能力的发展。基于语音意识训练的计算机程序能有效改善阅读困难儿童的阅读能力^[41]。关键在于合理使用:美国儿科学会建议2岁以下儿童避免娱乐性屏幕时间,2~5岁限制在每天1h以内^[42],并强调共同观看和内容选择的重要性。

6 儿童脑健康发展的未来方向与建议

跨学科合作将成为推动儿童脑健康发展的重要趋势。教育神经科学作为新兴交叉领域,正致力于搭建脑科学与教育实践的桥梁。基于工作记忆研究的认知训练方案已被应用于改善学习困难,而情绪调节的神经机制研究则促进了社会情绪学习项目的发展。未来需要建立更有效的转化机制,将实验室发现转化为可操作的干预措施。

脑肠轴研究为理解发育障碍提供了新视角。“微生物群-肠-脑轴”概念揭示了肠道菌群通过免疫、神经内分泌和迷走神经等途径影响大脑功能的多种机制。研究发现,孤独症儿童常伴有肠道菌群异常,而益生菌干预在动物模型中显示出改善社交行为的潜力^[43]。这些发现为发育障碍的干预开辟了新途径,但人类研究仍处于起步阶段。

技术创新将深刻改变研究和干预方式。功能性近红外光谱(fNIRS)等便携式脑成像技术使在自然环境中研究儿童脑活动成为可能。数字疗法(如基于虚拟现实的注意力训练)为干预提供了新工具^[44]。人工智能在分析大规模脑发育数据方面展现出巨大潜力。这些技术进步将加速个性化干预的发展。

最后,应加大对早期干预项目的投入,特别是对弱势群体的项目,Heckman^[45]的经济学分析表明,早期干预具有最高的投资回报率。面对快速变化的社会环境,需要基于坚实的科学证据,为儿童创造最有利于脑健康发展的成长环境。

参考文献

- [1] Tailor VK, Schwarzkopf DS, Dahlmann-Noor AH. Neuroplasticity and amblyopia: Vision at the balance point[J]. *Curr Opin Neurol*, 2017, 30(1): 74-83.
- [2] Li J, Kim S, Pappas SS, et al. CNS critical periods: Implications for dystonia and other neurodevelopmental disorders[J]. *JCI Insight*, 2021, 6(4): e142483.
- [3] Luchini SA, Zhang X, White RT, et al. Enhancing creativity with covert neurofeedback: Causal evidence for default-executive network coupling in creative thinking[J]. *Cereb Cortex*, 2025, 35(4): bhaf065.
- [4] Matuskey D, Yang Y, Naganawa M, et al. 11C-UCB-J PET imaging is consistent with lower synaptic density in autistic adults[J]. *Mol Psychiatry*, 2025, 30(4): 1610-1616.
- [5] Morgan G, Curtin M, Botting N. The interplay between early social interaction, language and executive function development in deaf and hearing infants[J]. *Infant Behav Dev*, 2021, 64: 101591.
- [6] Feola B, Dougherty LR, Riggins T, et al. Prefrontal cortical thickness mediates the association between cortisol reactivity and executive function in childhood[J]. *Neuropsychologia*, 2020, 148: 107636.
- [7] Dayananda KK, Ahmed S, Wang D, et al. Early life stress impairs synaptic pruning in the developing hippocampus[J]. *Brain Behav Immun*, 2023, 107: 16-31.
- [8] Diamond A. Executive functions[J]. *Annu Rev Psychol*, 2013, 64: 135-168.
- [9] Canet-Juric L, Gelpi-Trudo R, Zamora E, et al. Executive functions contributions to copying and text production in elementary school children[J]. *Appl Neuropsychol Child*, 2024; 1-13. doi.org/10.1080/21622965.2024.2440929.
- [10] Pijnenborg GHM, Larabi DI, Xu P, et al. Brain areas associated with clinical and cognitive insight in psychotic disorders: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020, 116: 301-336.
- [11] Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain[J]. *Annu Rev Neurosci*, 1990, 13: 25-42.
- [12] Gaca M, Olszewska AM, Drożdżel D, et al. How learning to read Braille in visual and tactile domains reorganizes the sighted brain[J]. *Front Neurosci*, 2025, 18: 1297344.
- [13] Zhao X, Wu S, Li X, et al. Common neural deficits across reward functions in major depression: A Meta-analysis of fMRI studies[J]. *Psychol Med*, 2024, 54(11): 2794-2806.
- [14] Wang S, Ding C, Dou C, et al. Associations between maternal prenatal depression and neonatal behavior and brain function-Evidence from the functional near-infrared spectroscopy[J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2022, 146: 105896.
- [15] McCaskey U, Von Aster M, O’Gorman R, et al. Persistent differences in brain structure in developmental dyscalculia: A longitudinal morphometry study[J]. *Front Hum Neurosci*, 2020, 14: 272.
- [16] Kong J, Zhou L, Li X, et al. Sleep disorders affect cognitive function in adults: An overview of systematic reviews and Meta-analyses[J]. *Sleep Biol Rhythms*, 2023, 21(2): 133-142.
- [17] Robledo-Castro C, Lerma-Castaño PR, Bonilla-Santos G. Effect of cognitive training programs based on computer systems on executive functions in children with ADHD: A systematic review[J]. *J Atten Disord*, 2023, 27(13): 1467-1487.
- [18] Bouton ME, Maren S, McNally GP. Behavioral and neurobiological mechanisms of pavlovian and instrumental extinction learning[J]. *Physiol Rev*, 2021, 101(2): 611-681.
- [19] Frith CD. The social brain? [J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2007, 362(1480): 671-678.
- [20] Tsfasman M, Philippsen A, Mazzola C, et al. The world seems different in a social context: A neural network analysis of human experimental data[J]. *PLoS One*, 2022, 17(8): e0273643.
- [21] Fehlbauer LV, Borbás R, Paul K, et al. Early and late neural correlates of mentalizing: ALE Meta-analyses in adults, children and adolescents[J]. *Soc Cogn Affect Neurosci*, 2022, 17(4): 351-366.
- [22] Sarkar A, Wrangham RW. Evolutionary and neuroendocrine foundations of human aggression[J]. *Trends Cogn Sci*, 2023, 27(5): 468-493.
- [23] Sheng JA, Bales NJ, Myers SA, et al. The hypothalamic-pituitary-adrenal axis: Development, programming actions of hormones, and maternal-fetal interactions[J]. *Front Behav Neurosci*, 2021, 14: 601939.
- [24] Kir Y, Sayar-Akaslan D, Agtas-Ertan E, et al. Cortical activity during social acceptance and rejection task in social anxiety disorder: A controlled functional near infrared spectroscopy study[J]. *Pro NeuroPsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2021, 104: 110012.
- [25] Schwimmbeck F, Bullón Tarrasó E, Schreiner T. A role for respiration in coordinating sleep oscillations and memory consolidation[J]. *Trends Neurosci*, 2025, 48(4): 247-249.
- [26] Wang L, Ling H, He H, et al. Dysfunctional synaptic pruning by microglia correlates with cognitive impairment in sleep-deprived mice: Involvement of CX3CR1 signaling[J]. *Neurobiol Stress*, 2023, 25: 100553.
- [27] Singh K, García-Gomar MG, Bianciardi M. Probabilistic atlas of the mesencephalic reticular formation, isthmus reticular formation, microcellular tegmental nucleus, ventral tegmental area nucleus complex, and caudal-rostral linear raphe nucleus complex in living humans from 7 tesla magnetic resonance imaging [J]. *Brain Connect*, 2021, 11(8): 613-623.
- [28] Hoshino K. Problems in the development of the sleep-wake rhythm influence neurodevelopmental disorders in children[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2023, 13(11): 1859.
- [29] Saribal D, Çalis H, Ceylan Z, et al. Investigation of the structural changes in the hippocampus and prefrontal cortex using FTIR spectroscopy in sleep deprived mice[J]. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2024, 321: 124702.

(下转第 607 页)

- [15] Wen DJ, Poh JS, Ni SN, et al. Influences of prenatal and postnatal maternal depression on amygdala volume and microstructure in young children[J]. *Transl Psychiatry*, 2017, 7(4): e1103.
- [16] 姜楠, 李玉艳, 武俊青, 等. 母亲抑郁对儿童综合发展的影响[J]. *实用预防医学*, 2020, 27(7): 893-896.
Jiang N, Li YY, Wu JQ, et al. Impact of maternal depression on comprehensive child development[J]. *Pract Prev Med*, 2020, 27(7): 893-896. (in Chinese)
- [17] Borchers LR, Dennis EL, King LS, et al. Prenatal and postnatal depressive symptoms, infant white matter, and toddler behavioral problems [J]. *J Affect Disord*, 2021, 282: 465-471.
- [18] 李粉, 田友平, 刘晓敏, 等. 母亲孕期抑郁与 2 岁儿童行为问题关系的前瞻性队列研究[J]. *中华流行病学杂志*, 2018, 39(4): 455-459.
Li F, Tian YP, Liu XM, et al. A prospective cohort study on the relationship between maternal prenatal depressive symptoms and children's behavioral problems at 2 years old [J]. *Chin J Epidemiology*, 2018, 39(4): 455-459. (in Chinese)
- [19] O'Leary N, Jairaj C, Molloy EJ, et al. Antenatal depression and the impact on infant cognitive, language and motor development at six and twelve months postpartum[J]. *Early Hum Dev*, 2019, 134: 41-46.
- [20] Deave T, Heron J, Evans J, et al. The impact of maternal depression in pregnancy on early child development [J]. *Obst Gynecol Surv*, 2008, 63(10): 626-628.
- [21] Waters CS, Hay DF, Simmonds JR, et al. Antenatal depression and children's developmental outcomes: Potential mechanisms and treatment options[J]. *Eur Child Adolesc Psychiatry*, 2014, 23(10): 957-971.
- 收稿日期: 2024-11-05 修回日期: 2025-03-25 本文编辑: 李少闻

(上接第 596 页)

- [30] Zhang H, Skelin I, Ma S, et al. Awake ripples enhance emotional memory encoding in the human brain[J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 215.
- [31] Peay DN, Acuna A, Reynolds CM, et al. Chronic stress leads to persistent and contrasting stellate neuron dendritic hypertrophy in the amygdala of male and female rats, an effect not found in the hippocampus[J]. *Neurosci Lett*, 2023, 812: 137403.
- [32] Kim DJ, Jassar H, Lim M, et al. Dopaminergic regulation of reward system connectivity underpins pain and emotional suffering in migraine[J]. *J Pain Res*, 2021, Volume 14: 631-643.
- [33] Hoyniak C, Whalen DJ, Tillman R, et al. Preschool sleep and depression interact to predict gray matter volume trajectories across late childhood to adolescence[J]. *Dev Cogn Neurosci*, 2022, 53: 101053.
- [34] Meira E, Cruz M, Sweetman A. Comorbid Insomnia and Sleep Apnea (COMISA): From research to clinical practice[J]. *Semin Respir Crit Care Med*, 2025. doi: 10.1055/a-2591-5664.
- [35] Chen Z, Liu P, Zhang C, et al. Brain morphological dynamics of procrastination: The crucial role of the self-control, emotional, and episodic prospection network [J]. *Cereb Cortex*, 2020, 30(5): 2834-2853.
- [36] Biggio G, Biggio F, Talani G, et al. Melatonin: From neurobiology to treatment[J]. *Brain Sci*, 2021, 11(9): 1121.
- [37] Brushe ME, Haag DG, Melhuish EC, et al. Screen time and parent-child talk when children are aged 12 to 36 months[J]. *JAMA Pediatr*, 2024, 178(4): 369.
- [38] Alroqi H, Serratrice L, Cameron-Faulkner T. The association between screen media quantity, content, and context and language development[J]. *J Child Lang*, 2023, 50(5): 1155-1183.
- [39] De Rutte JL, Dennis-Tiway TA, Roy AK. Computer-mediated communication (CMC) and anxiety in adolescence: Preference for CMC, social media burden, and attention bias to threat[J]. *Affect Sci*, 2024, 5(4): 377-388.
- [40] McNaughton KA, Kirby LA, Warnell KR, et al. Social-interactive reward elicits similar neural response in autism and typical development and predicts future social experiences [J]. *Dev Cogn Neurosci*, 2023, 59: 101197.
- [41] Gou H, Yang Y. The relationship between video games and social-emotional delay in Chinese rural preschoolers: A comparison of five types of media[J]. *Child Care Health Dev*, 2024, 50(4): e13288.
- [42] Council on Communications and Media, Hill D, Ameenuddin N, et al. Media and young minds[J]. *Pediatrics*, 2016, 138(5): e20162591.
- [43] Mamun AA, Geng P, Wang S, et al. IUPHAR review: Targeted therapies of signaling pathways based on the gut microbiome in autism spectrum disorders: Mechanistic and therapeutic applications [J]. *Pharmacol Res*, 2025, 211: 107559.
- [44] Hudak J, Blume F, Dresler T, et al. Near-infrared spectroscopy-based frontal lobe neurofeedback integrated in virtual reality modulates brain and behavior in highly impulsive adults[J]. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 425.
- [45] Heckman JJ. Skill formation and the economics of investing in disadvantaged children[J]. *Science*, 2006, 312(5782): 1900-1902.
- 收稿日期: 2025-05-03 修回日期: 2025-05-19 本文编辑: 李少闻