

注意缺陷多动障碍儿童的知觉闭合特点： 一项事件相关电位研究

李瑶瑶¹, 余京曼¹, 孙 黎², 王长明^{1*}, 吕少博¹

¹华北理工大学心理与精神卫生学院, 河北省心理健康与脑科学重点实验室, 河北 唐山

²北京大学第六医院, 北京大学精神卫生研究所, 国家精神心理疾病临床医学研究中心(北京大学第六医院), 卫生部精神卫生学重点实验室(北京大学), 北京

收稿日期: 2025年2月6日; 录用日期: 2025年3月6日; 发布日期: 2025年3月20日

摘 要

目的: 探讨注意缺陷多动障碍(ADHD)儿童在配对面孔比较任务中对不同模糊程度面孔进行知觉闭合加工的特点。方法: 纳入符合美国精神障碍诊断与统计手册第4版(DSM-IV)中ADHD诊断标准的儿童33例, 以及正常对照儿童26例。记录两组被试在观看遮挡面孔和完整面孔时的脑电信号, 运用事件相关电位(event-related potentials, ERPs)技术比较两组儿童P1、N170和NCL指标波幅和潜伏期上的差异。结果: 两组儿童P1成分无显著差异($p > 0.05$), ADHD儿童N170潜伏期提前 $[(197.52 \pm 1.52) \text{ ms vs. } (204.58 \pm 1.77) \text{ ms}, p < 0.01]$, 健康儿童在完整面孔条件下, 右半球NCL波幅显著大于左半球 $[(9.31 \pm 1.51) \mu\text{V vs. } (7.64 \pm 1.37) \mu\text{V}, p < 0.05]$, 而ADHD儿童表现为双侧加工($p > 0.05$)。结论: ADHD儿童知觉闭合加工存在明显缺陷, 表现出左半球的代偿效应。

关键词

注意缺陷多动障碍, 儿童, 知觉闭合, 面孔识别, 代偿

Perceived Closure Characteristics of Children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: An Event-Related Potential Study

Yaoyao Li¹, Jingman Yu¹, Li Sun², Changming Wang^{1*}, Shaobo Lyu¹

¹Hebei Key Laboratory of Mental Health and Brain Science, School of Psychology and Mental Health, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

*通讯作者。

文章引用: 李瑶瑶, 余京曼, 孙黎, 王长明, 吕少博(2025). 注意缺陷多动障碍儿童的知觉闭合特点: 一项事件相关电位研究. 心理学进展, 15(3), 396-405. DOI: 10.12677/ap.2025.153168

²Key Laboratory of Ministry of Health, Ministry of Health (Peking University), National Clinical Research Center for Mental Disorders (Peking University Sixth Hospital), Institute of Mental Health, Peking University Sixth Hospital, Beijing

Received: Feb. 6th, 2025; accepted: Mar. 6th, 2025; published: Mar. 20th, 2025

Abstract

Objective: To explore the characteristics of perceptual closure processing of faces with different degrees of blurriness in paired face comparison tasks in children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). **Methods:** 33 children who met the diagnostic criteria for ADHD in the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th edition (DSM-IV), and 26 normal control children were included. Record the EEG signals of two groups of subjects when viewing occluded and intact faces, and compare the differences in amplitude and latency of P1, N170, and NCL indicators between the two groups of children using event-related potentials (ERPs) technology. **Results:** There was no significant difference in the P1 component between the two groups of children ($p > 0.05$), and the latency of N170 was advanced in ADHD children $[(197.52 \pm 1.52) \text{ ms vs. } (204.58 \pm 1.77) \text{ ms}, p < 0.01]$. Under intact facial conditions, the amplitude of NCL waves in the right hemisphere of healthy children is significantly greater than that in the left hemisphere $[(9.31 \pm 1.51) \mu\text{V vs. } (7.64 \pm 1.37) \mu\text{V}, p < 0.05]$. Children with ADHD exhibit bilateral processing ($p > 0.05$). **Conclusions:** Children with ADHD exhibit significant deficits in perceptual closure processing, displaying compensatory effects in the left hemisphere.

Keywords

Attention Deficit/Hyperactivity Disorder, Children, Perceptual Closure, Facial Recognition, Compensation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

注意力缺陷多动障碍(Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder, ADHD)是一种常见的儿童期神经发育障碍,全球患病率约为8% (Ayano, Demelash, Gizachew, Tsegay, & Alati, 2023)。其核心特征包括与年龄不符的注意力缺陷、多动及冲动行为。这些症状在小学阶段尤为显著,并可能延续至青春期、成年期,甚至终身,严重影响患者的健康发展与生活质量(Peasgood et al., 2016)。

知觉闭合是指个体在面对不完整或部分缺失的感官信息时,能够通过推理和补充缺失的部分,从而识别出完整的图像、形状或意义的认知过程(Butler et al., 2013)。知觉闭合是认知功能的重要组成部分,是认知加工的基础过程之一。ADHD 儿童在感知信息的过程中往往存在困难,这使得他们在执行任务、维持注意力、理解复杂情境等方面面临诸多挑战。其核心症状是注意缺陷,而知觉闭合过程与注意力的维持密切相关。注意力作为个体知觉过程的核心功能,贯穿于信息选择、加工以及响应的各个阶段(Chapman, Chunharas, & Störmer, 2023)。ADHD 儿童的注意力缺陷不仅表现为行为层面的失控,还反映在感知与认知中多个阶段的潜在障碍(Lenartowicz & Loo, 2014)。先前的研究表明,ADHD 可能影响儿童感

觉加工能力(对输入信息的收集、处理和组织)(Nazari et al., 2010)以及感觉调节能力(对输入信息的反应过度或反应不足)(Adra, Cao, Makris, & Valera, 2021)。感觉输入的加工障碍可能与 ADHD 症状相关的神经机制有关。ADHD 儿童不仅在涉及自上而下加工的注意力选择中出现异常,其早期的、自下而上加工的感觉处理机制也存在缺陷(Papp et al., 2020)。

可以使用知觉闭合任务来研究 ADHD 儿童视觉信息加工过程中的障碍。知觉闭合连接感觉与认知过程,它是指从不完整或受阻的视觉信息中识别视觉对象或形状的能力(Snodgrass & Feenan, 1990),是人类视觉感知系统中的重要组成部分。在知觉闭合任务中,参与者需要对缺失部分细节的被遮挡物进行识别(Guo et al., 2024)。在这个过程中,枕叶、顶叶、颞叶和额叶协同参与了不完整物体的识别。神经影像学研究发现,相较于完整刺激,参与者在处理加工不完整信息时枕侧复合体和颞下区的激活增强(Ploran et al., 2007)。在遮挡刺激出现的早期阶段,尾下颞回与后顶叶皮层区域共同激活。随着知觉闭合的发生,尾下颞回的活动进一步延伸至梭状回,以预测和补全视觉输入中的缺失信息(Grützner et al., 2010)。与此同时,额叶网络也通过结合视觉经验和任务目标,对加工信息进行选择性反应(Mesulam, 1998),从而优化知觉闭合的效率与精确性。

知觉闭合过程本质上依赖于早期感觉与高级认知机制的整合。我们推测,ADHD 儿童的感觉处理与调节控制的中断将从根本上损害知觉闭合所需的关键过程。然而,目前关于 ADHD 儿童的知觉闭合能力的研究较少,其发生过程与时程特点尚不清楚。知觉闭合任务通过不完整与完整信息的配对比较,再现了知觉闭合发生的关键过程,包括视觉线索的初步解析、模糊轮廓的生成以及完整图形的构建(Poscoliero & Girelli, 2018)。与此同时,事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)技术凭借其高时间分辨率和锁时锁相特性,实现特定成分与上述三个阶段一一对应(Association, 1996; Doniger et al., 2000),为揭示 ADHD 儿童知觉闭合的神经机制提供可能。因此,本研究采用 ERP 技术,通过知觉闭合任务探究 ADHD 儿童知觉闭合过程的发生特点与神经电生理机制。

2. 对象

Table 1. General information of ADHD group and control group [n/($\bar{x} \pm s$)]

表 1. ADHD 组和对照组一般资料[例数/($\bar{x} \pm s$)]

	ADHD 组 (n = 33)	对照组 (n = 26)	t/ χ^2	df	p
性别(男/女)	25/8	18/8	0.313	1	0.576
年龄(年)	9.23 $\pm$ 1.53	9.27 $\pm$ 1.71	80.958	56	0.248
智商	107.03 $\pm$ 12.49	107.62 $\pm$ 9.92	-0.195	57	0.846
Conner 得分					
品行	13.33 $\pm$ 7.31				
学习	6.39 $\pm$ 2.52				
心身障碍	1.39 $\pm$ 1.75				
冲动多动	5.94 $\pm$ 2.52				
焦虑	2.64 $\pm$ 2.71				
多动指数	13.88 $\pm$ 5.31				

招募北京大学第六医院门诊就诊的 ADHD 患儿作为 ADHD 组,同时在社区招募正常对照组。(1) ADHD 组入组标准:①经主治及以上儿童精神科医生确诊,符合美国精神障碍诊断与统计手册第 4 版(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, DSM-IV)中 ADHD 诊断标准(Associa-

tion, 1996); ② 年龄 6~14 岁; ③ 视力正常, 无色盲色弱; ④ 韦氏儿童智力量表第四版(WISC-IV)中文版总智商(Intelligence Quotient, IQ)分数(张厚粲, 2009)高于 80; ⑤ 使用半定式诊断检查表学龄儿童情感障碍和精神分裂症问卷(Kiddie Schedule for Affective Disorder and Schizophrenia for School Age Children-Present and Lifetime Version, K-SADS-PL)与儿童及其监护人进行访谈以确认诊断, 未发现常见精神障碍, 包括情绪障碍、焦虑障碍及精神病性障碍等; ⑥ 无神经系统疾病、躯体疾病以及影响认知功能的脑部损伤史; ⑦ 无 ADHD 相关治疗药物使用史。(2) 正常组入组标准: ① 不符合 DSM-IV 中 ADHD 的诊断标准; ② 年龄 6~16 岁; ③ 无视力障碍; ④ WISC-IV 总智商不低于 80; ⑤ 根据 K-SADS-PL 诊断标准, 未见常见精神障碍。⑥ 无神经系统疾病、躯体疾病以及影响认知功能的脑部损伤史。

本研究 ADHD 组共纳入 33 名儿童(注意缺陷为主型 17 名, 混合型 16 名), 男性 25 名, 女性 8 名, 平均年龄 9.23 岁。对照组共招募 26 名儿童, 男性 18 名, 女性 8 名, 平均年龄为 9.27 岁。ADHD 组儿童在年龄和受教育年限方面与健康组儿童无显著差异。见表 1。

3. 方法

3.1. 研究材料

本研究从中国面孔表情图片系统(龚翔, 黄宇霞, 王妍, 罗跃嘉, 2011)选取 60 张自然中性面孔表情图片作为刺激材料, 男女比例相同, 所有面孔均正面呈现。使用 Adobe Photoshop 对其中 50%的图片进行随机遮挡处理, 遮挡比例为 50%。所有图片的亮度和对比度均进行一致化处理, 并统一图片分辨率为 260 × 300(宽 × 高)。刺激呈现采用 17 英寸液晶显示器(分辨率为 1024 × 768 像素, 刷新率 75 Hz), 所有刺激均呈现在屏幕中央。

3.2. 研究程序

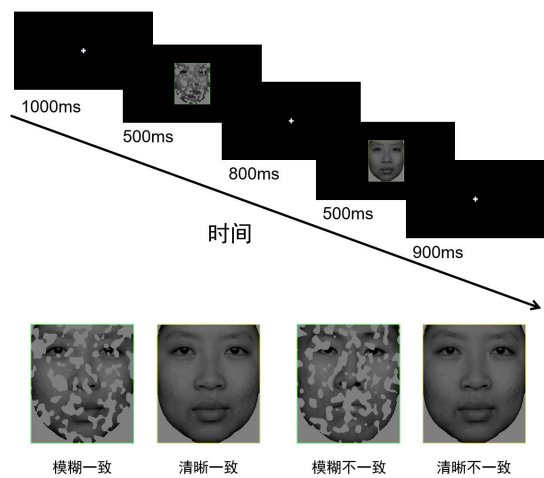


Figure 1. Experimental materials and flowchart
图 1. 实验素材和流程图

本研究采用配对面孔比较任务, 共有两个阶段, 其中练习阶段 20 个试次, 正式阶段 120 个试次。试验在一个安静舒适的房间中进行, 保持室内温度与亮度适宜。受试者坐在距离显示器前 75 cm 处, 调节座椅高度以维持视线水平对准屏幕中心。试验开始前要求受试者休息 5~10 分钟, 保持身心放松。开始后, 首先屏幕中心呈现一个“+”注视点, 呈现时间为随机 500~1000 ms, 以防止被试期待效应。随后遮挡面孔与完整面孔相继出现, 呈现时间均为 500 ms, 刺激间隔为 800 ms。当完整面孔出现时, 要求受试者尽

可能快地判断前后两张面孔是否相同，当遮挡面孔与完整面孔一致时按“F”键，不一致按“J”键(“F”键和“J”键事前已在键盘上与其他键位做区分处理)。之后会出现时长 400 ms 的空屏，然后进行下一次试次。该任务由 E-prime 2.0 编制，实验设计中，配对面孔性别相同的概率设定为 75%，同时确保“面孔匹配”与“面孔冲突”两种条件的出现概率均等，各占 50%。见图 1。

3.3. 脑电记录

采用美国 EGI (Electrical Geodesic Inc.)公司的 128 通道脑电记录系统进行数据采集，整个过程由经过专业培训的操作人员完成。测验前测量受试者头围以选择适配的电极帽，维持电极阻抗小于 50 kΩ。采样率设置为 1000 Hz，使用 0.05~100 Hz 带通滤波器在线滤波。

3.4. 统计学方法

使用基于 Matlab2018b (Math Works, Natick, 美国)平台的 EEGLAB (Delorme & Makeig, 2004)与 EPAT (Shi et al., 2024)工具箱对记录脑电进行离线预处理。首先，采用试验真实的电极位置信息进行通道定位，并将双眼及双侧脸颊周围电极(1、8、14、17、21、25、32、125、126、127、128)采集的信号标记为眼电信号，并剔除相关电极数据。随后，将采样率降至 250 Hz，采用 50 Hz 陷波滤波器去除工频干扰，并采用 0.5 Hz~30 Hz 的带通滤波。通过独立成分分析(Independent Component Analysis, ICA)去除眼电、心电及肌电伪迹。对存在故障的电极进行手动识别，并使用球面线性插值法修复。数据重参考采用全脑平均参考。数据分段基于刺激图片的诱发反应，选取时间窗为-200~800 ms，以刺激呈现时间点(0 ms)为基准，使用前 200 ms 数据进行基线校正。对于波幅绝对值超过 100 μV 的段落，视为伪迹并剔除。

分别对遮挡与完整面孔图片所诱发的 P1、N170、NCL 成分的峰值和峰值潜伏期进行讨论。在左枕叶(E65、E66、E70、E71)和右枕叶电极簇(E83、E84、E76、E90)上检测 P1 成分，在左颞枕(E50、E51、E52、E57、E58、E59、E64、E65)和右颞枕电极簇(E90、91、E92、E95、E96、E97、E100、E101)检测 N170 成分，在左枕顶(E69、E70、E73、E74)和右枕顶电极簇(E82、E83、E88、E89)上检测 NCL 成分。

P1 成分时间窗为 110~150 ms，N170 成分时间窗为 170~230 ms，遮挡面孔的 NCL 成分时间窗为 260~340 ms，完整面孔的 NCL 时间窗为 340~420 ms。

数据采用 SPSS Statistics 22.0 (IBM, Somers, 美国)软件进行统计。性别和年龄采用 χ^2 检验，智商得分采用独立样本 t 检验。脑电结果采用组别(ADHD 组、对照组) $\times$ 模糊程度(遮挡面孔、完整面孔) $\times$ 半球(左半球，右半球)的三因素重复测量方差分析，模糊程度和半球为被试内变量。如果交互效应显著则进行简单单效应分析及简单效应分析。所有统计结果均采用双尾(two-tailed)检验，以 $p < 0.05$ 为差异有统计学意义。

4. 结果

4.1. 两组 P1 峰值和潜伏期比较

Table 2. P1 amplitude in ADHD group and control group (μV , $\bar{x} \pm s$)

表 2. ADHD 组和对照组 P1 波幅(μV , $\bar{x} \pm s$)

组别	半球	遮挡面孔	完整面孔
ADHD 组	左半球	8.45 $\pm$ 1.34	8.94 $\pm$ 1.65
	右半球	9.10 $\pm$ 1.53	9.25 $\pm$ 1.76
对照组	左半球	10.65 $\pm$ 1.50	12.07 $\pm$ 1.86
	右半球	12.66 $\pm$ 1.72	14.02 $\pm$ 1.98

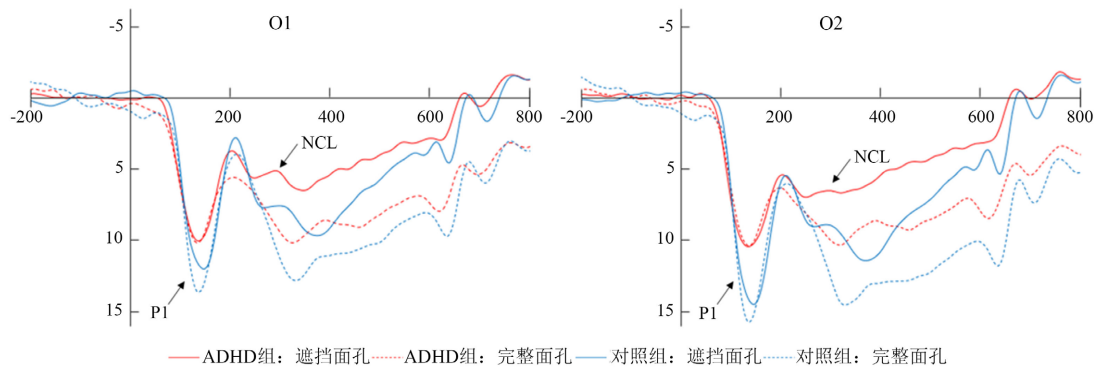


Figure 2. ERPs of P1 and NCL at O1 (Left) and O2 (Right) electrodes in ADHD group and control group
图 2. ADHD 组和对照组 O1 (左)和 O2 (右)电极点 P1 和 NCL 总波形图

重复测量方差分析结果显示, P1 峰值模糊程度主效应显著($F_{(1, 58)} = 4.359, p = 0.041, \eta_p^2 = 0.071$), 遮挡面孔波幅 $(10.22 \pm 1.05) \mu V$ 显著小于完整面孔 $(11.07 \pm 1.25) \mu V$ 。峰值半球主效应显著($F_{(1, 58)} = 5.233, p = 0.026, \eta_p^2 = 0.084$), 右半球波幅显著大于左半球, ADHD 儿童和对照组儿童均表现出右侧加工优势。两组 P1 潜伏期的差异没有达到统计学意义($p > 0.05$)。见图 2 和表 2。

4.2. 两组 N170 峰值和潜伏期比较

重复测量方差分析结果显示, N170 峰值的模糊程度主效应、半球主效应、组别主效应、以及交互作用均不显著($p > 0.05$)。潜伏期的模糊程度主效应显著($F_{(1, 58)} = 8.889, p = 0.04, \eta_p^2 = 0.135$), 完整面孔的潜伏期 $(203.07 \pm 1.26) ms$ 显著短于遮挡面孔 $(199.43 \pm 1.40) ms$ 。组别主效应显著($F_{(1, 58)} = 7.907, p = 0.007, \eta_p^2 = 0.122$), ADHD 儿童的 N170 潜伏期 $(197.52 \pm 1.52) ms$ 显著短于健康对照儿童 $(204.58 \pm 1.77) ms$ 。见图 3 和表 3。

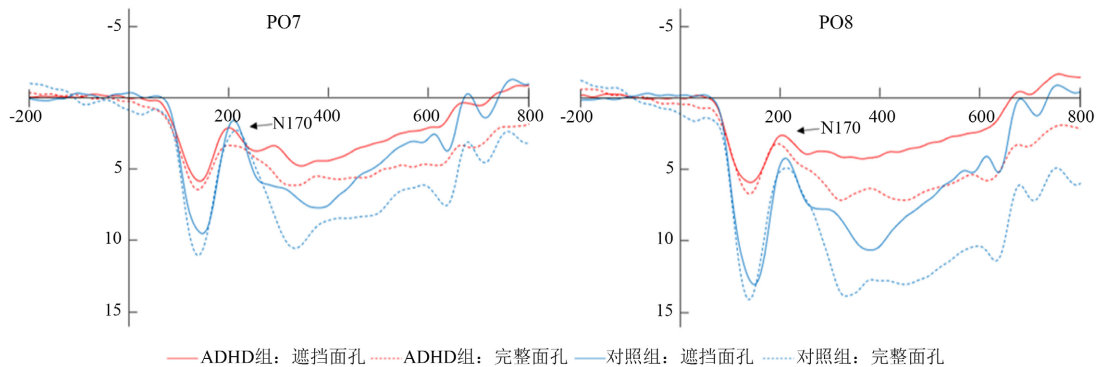


Figure 3. ERPs of N170 at PO7 (Left) and PO8 (Right) electrodes in ADHD group and control group
图 3. ADHD 组和对照组 PO7 (左)和 PO8 (右)电极点 N170 总波形图

Table 3. N170 latency in ADHD group and control group (ms, $\bar{x} \pm s$)

表 3. ADHD 组和对照组的 N170 潜伏期(ms, $\bar{x} \pm s$)

组别	半球	遮挡面孔	完整面孔
ADHD 组	左半球	199.89 ± 2.31	197.73 ± 2.61
	右半球	198.82 ± 2.30	195.26 ± 2.32
对照组	左半球	204.96 ± 2.60	202.90 ± 2.94
	右半球	208.62 ± 2.59	201.85 ± 2.62

4.3. 两组 NCL 峰值和潜伏期比较

重复测量方差分析结果显示, NCL 峰值的模糊程度主效应显著($F_{(1, 58)} = 58.757, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.508$), 遮挡面孔波幅[(4.17 ± 0.62) μV]显著小于完整面孔[(8.41 ± 0.94) μV]。波幅的三因素交互作用显著($F_{(1, 58)} = 6.151, p = 0.016, \eta_p^2 = 0.097$)简单效应检验显示, 对照组在儿童观看完整面孔时, 左半球波幅显著小于右半球($F_{(1, 58)} = 7.062, p = 0.010, \eta_p^2 = 0.110$), 表现为右半球优势加工。ADHD 儿童中未见半球差异($p > 0.05$)。NCL 潜伏期的模糊程度主效应显著($F_{(1, 58)} = 469.197, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.892$), 遮挡面孔下是 NCL 潜伏期[(291.34 ± 2.75) ms]显著短于完整面孔[(386.01 ± 3.15) ms]。见图 2 和表 4。

Table 4. NCL amplitude and latency in ADHD group and control group ($\bar{x} \pm s$)

表 4. ADHD 组和对照组 NCL 波幅和潜伏期($\bar{x} \pm s$)

组别	半球	波幅 μV		潜伏期 ms	
		遮挡面孔	完整面孔	遮挡面孔	完整面孔
ADHD 组	左半球	3.70 ± 0.88	8.49 ± 1.22	292.06 ± 3.88	385.64 ± 4.53
	右半球	4.21 ± 0.84	8.19 ± 1.34	291.36 ± 2.94	384.39 ± 4.30
对照组	左半球	4.06 ± 1.00	7.64 ± 1.37	292.12 ± 4.36	387.58 ± 5.12
	右半球	4.69 ± 0.95	9.31 ± 1.51	289.81 ± 4.44	386.42 ± 4.85

5. 讨论

本研究采用 ERP 技术, 通过配对面孔比较任务, 探讨 ADHD 儿童和健康儿童在遮挡面孔和完整面孔条件下的知觉组织的动态加工过程。通过 ERP 指标评估 ADHD 儿童在知觉闭合能力方面的潜在缺陷, 并进一步分析不同加工阶段下 ADHD 儿童的异常表现。相比于完整面孔, 两组儿童在呈现遮挡面孔时 P1 波幅降低、N170 潜伏期延长、NCL 波幅降低且潜伏期缩短。两组儿童在观看遮挡面孔和完整面孔时的 P1 都表现出了右侧加工优势。ADHD 儿童在不同模糊程度下的 N170 潜伏期缩短。对于完整面孔 NCL 波幅, 健康儿童表现出右侧偏侧化趋势, 而 ADHD 儿童表现为异常的双侧加工模式。

P1 反映了视觉感知加工的早期阶段, 是视觉图像表征的关键神经指标。过往研究表明, P1 成分与空间注意力和视觉刺激的基本特征密切相关(Usler, Foti, & Weber, 2020), 由于完整面孔提供了更丰富清晰的面部特征信息, 因此能够促进早期视觉加工过程, 提高视觉神经系统对刺激的敏感性, 从而诱发更强的 P1 成分。在不同模糊程度条件下, 两组儿童的右半球 P1 波幅大于左半球, 表现出右半球偏侧化效应, 该结论与右半球在面孔识别和空间加工中的主导作用相一致(Lesinger et al., 2023)。此外, 健康儿童与 ADHD 儿童在完整面孔和遮挡面孔条件下的 P1 成分相似, 表明两组儿童在视觉刺激的初期解析阶段未能有效区分图片的模糊程度, 早期感知阶段没有进行面孔的知觉整合加工。

根据 ERP 结果显示, N170 潜伏期受到模糊程度和组别的调节。完整面孔 N170 潜伏期显著短于遮挡面孔, ADHD 组潜伏期显著短于对照组。N170 被认为是与面孔相关的特异性成分, 且 N170(N1)和图形轮廓生成也存在显著关联(Liu et al., 2020; Poscoliero & Girelli, 2018), 有研究表明, 当展示的部分轮廓能够形成某种几何图形时, N1 振幅增大(Poscoliero & Girelli, 2018)。此外, 一项针对正常成年人群的研究发现, N170 振幅和潜伏期均受到面孔轮廓模糊程度的影响(Liu et al., 2020)。对面孔的识别是一个高度专家化的认知过程, 这种特征在幼儿时期开始显现, 并在青春期逐渐发育成熟。面孔加工还具有整体效应, 即将面孔作为一个整体进行识别, 而不是单个部分。研究表明, 对于倒置人脸和非人脸对象未能观察到整体加工优势, 这支持了整体编码特征专属于正常、完整的人脸(Tanaka & Simonyi, 2016)。因此, 完整面

孔的加工遵循正常的面孔组织加工过程,个体通常会直接运用已有的加工策略,从而表现出更快的加工速度。而遮挡面孔与现有面孔模板不一致,识别过程需要更长的时间。ADHD 组 N170 潜伏期提前,可能的解释是 N170 受到了注意力的自上而下的调节。ADHD 儿童的神经系统存在兴奋与抑制的失衡,认知任务中通常表现为过度激活的视觉感知(Luo et al., 2023)。导致 N170 潜伏期缩短, P1 潜伏期亦呈现出相似的趋势,尽管未达到显著水平。

NCL 是一个与知觉闭合相关的负性成分,反映完整图形构建的加工过程。遮挡面孔的 NCL 潜伏期显著提前,儿童对遮挡面孔的加工可能依赖不同的注意力分配策略,由于缺少完整的视觉线索,可能需要调动更多的注意资源进行整合加工,从而快速补充缺失信息,表现为潜伏期缩短。呈现完整面孔时,被试需将当前面孔和遮挡面孔进行比较,投入了较多的认知资源,导致完整面孔的 NCL 成分波幅增大,潜伏期进一步延长。健康儿童在处理完整面孔时诱发的 NCL 成分表现出右侧加工优势,ADHD 儿童呈现出双侧加工,这表明 ADHD 儿童存在异常的面孔加工模式。研究已证实,枕外侧复合体(Lateral Occipital Complex, LOC)和额叶皮质区域在知觉闭合过程中发挥主要作用(Sehatpour, Molholm, Javitt, & Foxe, 2006; Zhang, Yang, Jin, & Li, 2021),并且 LOC 在面孔感知中发挥关键作用(Shao, Weng, & He, 2017)。尽管目前的研究尚未明确表明 ADHD 儿童的 LOC 存在普遍性损伤(Emond, Joyal, & Poissant, 2009),而其额叶皮质,尤其是前额叶的激活降低已被广泛验证(Emond et al., 2009; Yasumura et al., 2019)。轮廓整合过程中涉及前额叶皮层对大脑其他区域(如视觉皮层)的高阶认知调控,ADHD 儿童前额叶激活不足,脑区间协调工作受损。同时,前额叶皮层在选择性注意和抑制无关信息也发挥重要作用(Cohen, Ross, & Stern, 2018),ADHD 儿童在整合感官信息时,容易受到无关信息的干扰,影响轮廓整合的效率。以上原因都导致右半球无法在轮廓整合中发挥主导作用,前额叶引发跨半球功能补偿机制,左右半球共同作用以完成完整图形的整体构建。在处理遮挡面孔时,两组儿童均未表现出显著的偏侧化差异,一种可能的解释是遮挡面孔的加工难度较大,且对遮挡面孔的知觉整合加工要优先于面孔的常规加工。

6. 总结

综上,本研究发现在对不完整面孔进行加工时,由于儿童未能快速识别到有效面孔特征,将不完整面孔视为一般刺激进行初步视觉解析,从而投入较少的认知资源。在知觉加工阶段,遮挡面孔不利于发挥面孔加工的整体效应,阻碍了模糊轮廓的生成,加工速度更慢。知觉闭合加工中会优先完成遮挡面孔的闭合轮廓的构建加工,再进行面孔整体处理。ADHD 儿童未表现出早期感觉障碍,且右侧枕区始终发挥主导作用,与健康儿童一致。由于神经兴奋性增强,其面孔知觉加工早于健康儿童,但加工深度未发生变化。并且,ADHD 儿童在轮廓整合中表现出的左半球代偿可以归因于其前额叶皮层功能障碍,右半球在视觉知觉中的加工受损,左半球试图通过增强细节处理和局部信息加工来代偿这一不足。表明 ADHD 儿童偏侧化发育不平衡导致知觉闭合能力受损。

本研究探讨了遮挡面孔和完整面孔的知觉组织加工过程,揭示了 ADHD 儿童在知觉闭合加工中右半球偏侧化效应消失、左半球代偿加工的特点。阐明了不完整面孔识别的神经机制和处理策略。这为理解人类视觉系统如何在面对不完整信息时进行知觉补充提供了新的视角,也为理解 ADHD 儿童在视觉加工中的大脑功能不对称性,特别是在面孔知觉和知觉闭合等复杂认知任务中的表现,提供了重要线索。

本研究存在一定的局限性。本研究仅采用了中性面孔刺激作为实验材料,未来研究可补充对照刺激进行进一步的讨论。不同亚型的 ADHD 患者的认知损伤和神经活动表现可能存在差异,并且,本研究未对 ADHD 儿童的共患病进行严格控制。未来的研究中希望扩大样本量,对不同亚型和共病进行分类讨论。本研究主要讨论了电生理指标的变化,故在今后的研究中可结合眼动、fMRI、fNIRS 等手段,从多个角

度探讨 ADHD 儿童知觉闭合缺陷, 及其对核心症状的关联。

参考文献

- 龚栩, 黄宇霞, 王妍, 罗跃嘉(2011). 中国面孔表情图片系统的修订. *中国心理卫生杂志*, 25(1), 40-46.
- 张厚粲(2009). 韦氏儿童智力量表第四版(WISC-IV)中文版的修订. *心理科学*, (5), 1177-1179.
- Adra, N., Cao, A., Makris, N., & Valera, E. M. (2021). Sensory Modulation Disorder and Its Neural Circuitry in Adults with ADHD: A Pilot Study. *Brain Imaging and Behavior*, 15, 930-940. <https://doi.org/10.1007/s11682-020-00302-w>
- Association, A. P. (1996). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association.
- Ayano, G., Demelash, S., Gizachew, Y., Tsegay, L., & Alati, R. (2023). The Global Prevalence of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents: An Umbrella Review of Meta-Analyses. *Journal of Affective Disorders*, 339, 860-866. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.07.071>
- Butler, P. D., Abeles, I. Y., Silverstein, S. M., Dias, E. C., Weiskopf, N. G., Calderone, D. J. et al. (2013). An Event-Related Potential Examination of Contour Integration Deficits in Schizophrenia. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00132>
- Chapman, A. F., Chunharas, C., & Störmer, V. S. (2023). Feature-Based Attention Warps the Perception of Visual Features. *Scientific Reports*, 13, Article No. 6487. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33488-2>
- Cohen, J. E., Ross, R. S., & Stern, C. E. (2018). Predictability Matters: Role of the Hippocampus and Prefrontal Cortex in Disambiguation of Overlapping Sequences. *Learning & Memory*, 25, 335-346. <https://doi.org/10.1101/lm.047175.117>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An Open Source Toolbox for Analysis of Single-Trial EEG Dynamics Including Independent Component Analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Doniger, G. M., Foxe, J. J., Murray, M. M., Higgins, B. A., Snodgrass, J. G., Schroeder, C. E. et al. (2000). Activation Timecourse of Ventral Visual Stream Object-Recognition Areas: High Density Electrical Mapping of Perceptual Closure Processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 615-621. <https://doi.org/10.1162/089892900562372>
- Emond, V., Joyal, C., & Poissant, H. (2009). Neuroanatomie structurelle et fonctionnelle du trouble déficitaire d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). *L'Encéphale*, 35, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2008.01.005>
- Grützner, C., Uhlhaas, P. J., Genc, E., Kohler, A., Singer, W., & Wibral, M. (2010). Neuroelectromagnetic Correlates of Perceptual Closure Processes. *Journal of Neuroscience*, 30, 8342-8352. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5434-09.2010>
- Guo, F., Wang, C., Tao, G., Ma, H., Zhang, J., & Wang, Y. (2024). A Longitudinal Study on the Impact of High-Altitude Hypoxia on Perceptual Processes. *Psychophysiology*, 61, e14548. <https://doi.org/10.1111/psyp.14548>
- Lenartowicz, A., & Loo, S. K. (2014). Use of EEG to Diagnose ADHD. *Current Psychiatry Reports*, 16, Article No. 498. <https://doi.org/10.1007/s11920-014-0498-0>
- Lesinger, K., Rosenthal, G., Pierce, K., Courchesne, E., Dinstein, I., & Avidan, G. (2023). Functional Connectivity of the Human Face Network Exhibits Right Hemispheric Lateralization from Infancy to Adulthood. *Scientific Reports*, 13, Article No. 20831. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47581-z>
- Liu, C., Sha, S., Zhang, X., Bian, Z., Lu, L., Hao, B. et al. (2020). The Time Course of Perceptual Closure of Incomplete Visual Objects: An Event-Related Potential Study. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2020/8825197>
- Luo, X., Dang, C., Guo, J., Li, D., Wang, E., Zhu, Y. et al. (2023). Overactivated Contextual Visual Perception and Response to a Single Dose of Methylphenidate in Children with ADHD. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 274, 35-44. <https://doi.org/10.1007/s00406-023-01559-0>
- Mesulam, M. (1998). From Sensation to Cognition. *Brain*, 121, 1013-1052. <https://doi.org/10.1093/brain/121.6.1013>
- Nazari, M. A., Berquin, P., Missonnier, P., Aarabi, A., Debatisse, D., De Broca, A. et al. (2010). Visual Sensory Processing Deficit in the Occipital Region in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder as Revealed by Event-Related Potentials during Cued Continuous Performance Test. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 40, 137-149. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2010.03.001>
- Papp, S., Tombor, L., Kakuszi, B., Balogh, L., Réthelyi, J. M., Bitter, I. et al. (2020). Impaired Early Information Processing in Adult ADHD: A High-Density ERP Study. *BMC Psychiatry*, 20, Article No. 292. <https://doi.org/10.1186/s12888-020-02706-w>
- Peasgood, T., Bhardwaj, A., Biggs, K., Brazier, J. E., Coghill, D., Cooper, C. L. et al. (2016). The Impact of ADHD on the Health and Well-Being of ADHD Children and Their Siblings. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 25, 1217-1231. <https://doi.org/10.1007/s00787-016-0841-6>

- Ploran, E. J., Nelson, S. M., Velanova, K., Donaldson, D. I., Petersen, S. E., & Wheeler, M. E. (2007). Evidence Accumulation and the Moment of Recognition: Dissociating Perceptual Recognition Processes Using fMRI. *The Journal of Neuroscience*, 27, 11912-11924. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3522-07.2007>
- Poscoliero, T., & Girelli, M. (2018). Electrophysiological Modulation in an Effort to Complete Illusory Figures: Configuration, Illusory Contour and Closure Effects. *Brain Topography*, 31, 202-217. <https://doi.org/10.1007/s10548-017-0582-y>
- Sehatpour, P., Molholm, S., Javitt, D. C., & Foxe, J. J. (2006). Spatiotemporal Dynamics of Human Object Recognition Processing: An Integrated High-Density Electrical Mapping and Functional Imaging Study of “Closure” Processes. *NeuroImage*, 29, 605-618. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.049>
- Shao, H., Weng, X., & He, S. (2017). Functional Organization of the Face-Sensitive Areas in Human Occipital-Temporal Cortex. *NeuroImage*, 157, 129-143. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.05.061>
- Shi, J., Gong, X., Song, Z., Xie, W., Yang, Y., Sun, X. et al. (2024). EPAT: A User-Friendly MATLAB Toolbox for EEG/ERP Data Processing and Analysis. *Frontiers in Neuroinformatics*, 18, Article 1384250. <https://doi.org/10.3389/fninf.2024.1384250>
- Snodgrass, J. G., & Feenan, K. (1990). Priming Effects in Picture Fragment Completion: Support for the Perceptual Closure Hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 276-296. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.119.3.276>
- Tanaka, J. W., & Simonyi, D. (2016). The “Parts and Wholes” of Face Recognition: A Review of the Literature. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69, 1876-1889. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1146780>
- Uslar, E., Foti, D., & Weber, C. (2020). Emotional Reactivity and Regulation in 5 to 8-Year-Old Children: An ERP Study of Own-Age Face Processing. *International Journal of Psychophysiology*, 156, 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.07.004>
- Yasumura, A., Omori, M., Fukuda, A., Takahashi, J., Yasumura, Y., Nakagawa, E. et al. (2019). Age-Related Differences in Frontal Lobe Function in Children with ADHD. *Brain and Development*, 41, 577-586. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2019.03.006>
- Zhang, J., Yang, X., Jin, Z., & Li, L. (2021). Where There Is No Object Formation, There Is No Perceptual Organization: Evidence from the Configural Superiority Effect. *NeuroImage*, 237, Article 118108. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118108>