

早期面孔感知编码在先天性面孔识别缺陷中的作用及其机制探究

明莉莉^{1,2}, 王丽君^{3,4}, 孙宇翔^{1,2}, 孙佳敏^{1,2}, 郭菲菲^{1,2}, 李秋凤^{1,2}, 胡学平^{1,2,5*}

¹江苏师范大学语言科学与艺术学院, 江苏 徐州

²江苏省语言与认知神经科学重点实验室, 语言能力协同创新中心, 江苏 徐州

³河南大学教育学部, 河南 开封

⁴河南大学认知, 脑与健康研究所, 河南 开封

⁵南京师范大学文学院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年9月12日; 录用日期: 2022年10月19日; 发布日期: 2022年10月27日

摘要

发展性面孔失认症一直受到学界广泛关注, 但是关于其典型的面孔识别缺陷源于面孔识别过程中哪一认知阶段的问题, 尚不明确。很多研究表明先天性面孔失认症患者在记忆维持和检索阶段上具有缺陷表现, 但是该记忆阶段的缺陷表现很可能来源于更为早期的感知编码损伤——“由粗到精”整体加工上的不足, 在神经机制上表现为梭状回面孔区、枕叶面孔区的面孔选择性反应减弱, 以及这两个脑区之间连接减弱。此外, 其中精细而非粗糙的整体面孔感知编码问题与先天性面孔失认症患者面孔识别的行为缺陷具有更加紧密的关系。

关键词

发展性面孔失认症, 面孔识别, 面孔感知, 面孔记忆

The Role and Mechanism Exploration of Early Face Perception Coding in Congenital Prosopagnosics

Lili Ming^{1,2}, Lijun Wang^{3,4}, Yuxiang Sun^{1,2}, Jiamin Sun^{1,2}, Feifei Guo^{1,2}, Qiufeng Li^{1,2}, Xueping Hu^{1,2,5*}

¹School of Linguistic Science and Art, Jiangsu Normal University, Xuzhou Jiangsu

²Collaborative Innovation Center for Language Ability, Key Laboratory of Language and Cognitive Neuroscience of Jiangsu Province, Xuzhou Jiangsu

*通讯作者。

文章引用: 明莉莉, 王丽君, 孙宇翔, 孙佳敏, 郭菲菲, 李秋凤, 胡学平(2022). 早期面孔感知编码在先天性面孔识别缺陷中的作用及其机制探究. *心理学进展*, 12(10), 3455-3464. DOI: 10.12677/ap.2022.1210421

³Faculty of Education, Henan University, Kaifeng Henan

⁴Institute of Cognition, Brain and Health, Henan University, Kaifeng Henan

⁵School of Chinese Language and Culture, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

Received: Sep. 12th, 2022; accepted: Oct. 19th, 2022; published: Oct. 27th, 2022

Abstract

Developmental prosopagnosia (DP) has been widely concerned by the academic community, but it is still unclear which cognitive stage of the process is the cause of its typical face recognition deficit. Many studies suggested that the DPs have defective performance in the memory maintenance and retrieval stage, but the defective performance in this memory stage is likely to be derived from the earlier perceptual coding impairment, especially the insufficiency in coarse-to-fine holistic process, which is manifested in the weakened selective response of the fusiform face area and occipital face area, as well as the weakened connection between these two regions. In addition, the fine rather than rough face perception ability is more related to the face recognition deficit in DPs.

Keywords

Developmental Prosopagnosia, Face Recognition, Face Perception, Face Memory

Copyright © 2022 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

发展性面孔失认症(developmental prosopagnosia, DP), 也称为先天性面孔失认症或先天性“脸盲”, 是一种以面孔识别(recognition)缺陷为典型特征的神经发育疾病, 其在智力、记忆力和典型的低视力水平上显示正常, 并且没有明显的脑损伤情况。目前估计每 50 个成人中就有一人可能会罹患终身的面孔识别困难(Bowles et al., 2009), 如此高的患病率及其对于患者社会生活造成的严重影响, 都使得对于 DPs 面孔识别缺陷成因的探究一直是学界几十年来始终关注的研究焦点。

面孔识别涉及一系列至少部分可分离的加工过程(Bruce & Young, 1986), 那么 DPs 的面孔识别缺陷很可能是由于其在识别过程中某一加工阶段上存在问题, 例如感知编码、记忆维持/存储、记忆检索。其中, 记忆维持和记忆检索阶段上的缺陷表现已经在很多 DP 研究中得到证明, 而早期的感知编码阶段上是否存在损伤的这一问题的, 则目前仍存有争议。进一步而言, 如果 DPs 在早期感知编码阶段已经存在损伤, 那么具体又反映了其背后怎样的认知机制, 以及编码损伤能在多大程度上解释其面孔识别缺陷? 对于这些问题的厘清将有助于深入了解 DP 疾病的缺陷成因, 以及进一步制定和开展针对性的治疗方案。那么下文我们将围绕感知编码、记忆维持和记忆检索三个阶段的加工情况来讨论 DPs 面孔识别缺陷潜在的认知机制。

同时, 本文将结合神经机制研究进一步探究 DP 疾病的认知缺陷与神经系统之间的关系, 其中面孔加工的神经系统主要包含核心系统和拓展系统, 一般认为核心系统由双侧梭状回面孔区(fusiform face area, FFA)、枕叶面孔区(occipital face area, OFA)和后颞上沟(posterior superior temporal sulcus, pSTS)组成, 拓展

系统涉及前颞叶和杏仁核等脑区(Hoffman et al., 2000)。最后, 本文就 DP 疾病的亚型划分、面孔加工缺陷的特异性以及与某些特定基因的相关性展开讨论, 以更为全面而深入地认知 DP 疾病。

2. DP 面孔识别缺陷的认知过程

新/旧面孔识别任务、延迟面孔匹配任务, 以及综合了延迟匹配范式和新/旧面孔识别范式形成的剑桥面孔识别测试(Cambridge Face Memory Test, CFMT) (Duchaine & Nakayama, 2006)是目前用于个体面孔识别能力测量的经典范式/测试(Robotham & Starrfelt, 2018)。这些范式/测试结果都显示, DPs 在面孔识别方面存在显著缺陷, 即无论在组水平上, 还是个体水平上的表现都显著差于对照组(Dalrymple et al., 2014; Fisher et al., 2017; Liu et al., 2021; Pertzov et al., 2020; Stumps et al., 2020), 例如具有明显更低的识别正确率和/或更低的识别信心。

但是这些行为学结果只能反映出 DPs 的面孔识别表现差于常人, 例如无法识别或者难以肯定地识别出很多已经见过的面孔刺激, 而不能探测具体的面孔识别过程, 即在不同认知阶段上的表现究竟如何, 所以下面我们将结合神经机制研究来综合讨论 DPs 在面孔识别过程中感知编码、记忆维持/存储和记忆检索三个认知阶段的加工情况。

鉴于目前大量 DP 神经机制研究已经证明了其在记忆维持和检索阶段上的缺陷表现, 因此我们首先梳理其在记忆维持和检索阶段加工上的相关证据, 再对更为早期的感知编码阶段上的表现进行讨论。

2.1. 面孔记忆维持和检索

目前很多面孔识别的神经机制研究都集中于对于记忆检索阶段的探讨, 即当面孔重复呈现时, 关注第二张面孔诱发的神经活动来考察第一张面孔所留下的记忆检索表现。一些事件相关电位(event-related potential, ERP)研究表明 DPs 在面孔记忆检索阶段上具有缺陷表现(Fisher et al., 2017; Towler et al., 2018), 例如 Towler 等人(2018)使用延迟匹配范式让被试判断这两张面孔图像是否是完全重复的, 还是存在变异的, Towler 等人发现相比于对照组, DPs 对于完全重复的面孔诱发的 N250 成分振幅明显更弱, 而该成分已经在基于神经典型发育群体的研究中证明其表征了当前感知到的面孔与大脑中存储的面孔匹配时对于枕颞皮层中记忆痕迹的激活(Gosling & Eimer, 2011; Parketny et al., 2015)。因此, 更弱的 N250 振幅意味着 DPs 没有诱发出与常人类似程度的面孔记忆痕迹的激活。由于该研究中脑电成分的提取是基于得到正确反应的试次, 所以可以说, 即使 DPs 能够正确识别出这张面孔是之前呈现过的, 但是他们的识别程度却弱于常人, 或者说检索到的相关面孔记忆表征的稳定性不及常人。

这种在记忆检索阶段中并不稳定的面孔表征现象不仅仅发生在外显的面孔识别活动中, 也存在于内隐的面孔识别中, 例如在熟悉性判断任务和被动观看任务中, 相比于常人, DPs 表现出面孔重复抑制效应的减小(Furl et al., 2011; Williams et al., 2007), 即当一张陌生面孔在曝光几秒钟后再次被看到时, 他们却很难明确地意识到这张面孔已经见过, 或者说未能在大脑中检索到关于这张面孔的稳定表征。这一结论与 Towler 等人(2018)的研究结论相一致, 说明无论是内隐的, 还是显性的面孔识别, DPs 都在记忆检索阶段不具有稳定的面孔表征。

除了记忆检索, 一些研究还表明 DPs 在中期的记忆维持阶段已经表现不佳。Haeger 等人(2021)发现其在面孔维持阶段上 FFA 激活减弱, 说明 DPs 难以像常人一样维持稳定的神经表征。因此, DP 至少在记忆维持和检索阶段就不具有稳定的面孔表征。

2.2. 面孔感知编码

2.2.1. 来自面孔感知加工的神经证据

根据面孔的线性加工理论, 面部感知的早期损伤很有可能导致下游(downstream)的面部记忆阶段也呈

现损伤表现。所以上述 DPs 在面孔记忆维持和检索阶段的不良表现很有可能也是源于早期感知编码时表征构建的不稳定性。

一些研究表明尽管在面孔记忆维持和检索阶段 DPs 存在缺陷表现, 但是其面孔记忆维持和检索能力并未受损。一项延时匹配研究发现, 间隔时间的延长对于 DPs 面孔识别表现造成的负面影响, 与常人受到影响的程度是相当的(Shah et al., 2015), 说明 DPs 并没有在记忆维持和检索上表现出不成比例的损伤, 而上述提及的在记忆维持和检索阶段的缺陷表现可能反映了更为早期的感知编码问题。Haeger 等人(2021)则证明了 DPs 在记忆维持阶段的缺陷表现可能是来自早期感知编码问题的延续, 因为其不仅在面孔维持阶段发现了 FFA 激活减弱的现象, 还在面孔感知阶段也发现了 FFA 激活减弱的现象, 说明在早期的面孔感知编码阶段, DPs 就难以构建出像常人一样稳定的神经表征, 可能继而造成了上文中提及的在记忆维持和检索阶段上观测到的并不稳定的面孔表征现象。

面孔感知编码阶段上就没有形成稳定表征的这一观点也受到了来自面孔特异性感知的神经影像学研究的支持。虽然 DPs 的面孔加工核心系统可以产生面孔选择性反应(Rossion et al., 2011; Towler et al., 2016; Williams et al., 2007), 但是诱发的面孔选择性反应明显更弱, 例如使用单体素激活分析的磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)研究结果显示, 相比于对照组, DPs 的 FFA、OFA 和 pSTS 的面孔选择性激活程度显著更弱(Avidan et al., 2014; Dinkelacker et al., 2011; Furl et al., 2011; Guo et al., 2018), 使用多体素模式分析的结果上也具有类似的发现: DPs 的 FFA 和 OFA 可以用于分类面孔和非面孔, 但是显示出低于常人的神经分类准确率(Rivolta et al., 2014), 这些研究结果都说明 DPs 在面孔特异性的感知编码上即是弱于常人的。

更为重要的是, 这种更弱的面孔特异性感知编码的神经表征可以预测 DPs 面孔识别的行为学缺陷。任务态 MRI 研究结果显示, DPs 不仅在新/旧面孔识别任务中表现出显著缺陷, 而且其新/旧面孔识别成绩与双侧 FFA 的面孔选择性反应显著相关(Liu et al., 2021)。这与基于神经典型发育群体的研究结果非常相似, 在健康群体中更高的新/旧面孔识别成绩, 与更高的双侧 FFA 和 OFA 的面孔选择性反应有关(Huang et al., 2014)。因此, 面孔识别能力的高低与面孔特异性感知编码的神经表征显著相关, 那么在 DPs 中, 其面孔识别缺陷可能也是源于其更弱的面孔特异性感知编码, 具体而言, 其更弱的面孔特异性感知编码, 可以预测其在面孔识别活动中上游(upstream)的感知编码阶段将产生弱于常人的面孔表征, 这一点受到了 Haeger 等人(2021)研究的支持, 随后将感知到的面孔表征信息传递至处理流的下游, 在记忆维持和记忆检索阶段上也被发现存在更弱的面孔表征, 从而在整个面孔识别活动中都表现出明显缺陷。

面孔感知编码问题对于 DPs 面孔识别行为缺陷的解释性, 不仅表现为其面孔感知编码更弱的神经表征对于 DPs 面孔识别行为学缺陷的预测性, 而且也表现为其面孔感知编码经验的提升对于 DPs 面孔识别行为学缺陷的改善作用。例如, 一些研究发现面孔感知编码的时间延长(Stollhoff et al., 2010)或者能力训练(DeGutis et al., 2007; DeGutis et al., 2014)将有助于提高 DPs 面孔识别的正确率。

综上, DPs 不仅存在面孔感知编码损伤, 而且其感知编码损伤是 DPs 面孔识别缺陷重要而关键的原因, 但是这一观点在另一类面孔感知证据中存在争议, 因此下面我们将结合该类证据综合讨论 DP 面孔识别缺陷的潜在原因。

2.2.2. 来自面孔感知能力测试的行为学证据

除了来自面孔识别活动中前期面孔感知编码阶段以及面孔特异性感知编码的神经证据, 另一项已经被广泛用于测量面孔感知能力的测试——剑桥面孔感知测试(Cambridge Face Perception Test, CFPT)(Duchaine et al., 2007)的行为学证据也可以反映 DPs 的面孔感知能力。鉴于该测试中涉及非常低的记忆需求, 所以很多研究者认为其可以很好地反映面孔感知能力。基于 CFPT 成绩的一些研究结果显示, DPs

具有明显的面孔感知缺陷(Biotti et al., 2019; Mishra et al., 2021; Shah et al., 2015), 而另一些研究则报告了DPs 内部的面孔感知能力的异质性现象(Bate et al., 2019; Dalrymple et al., 2014; Fisher et al., 2017; Towler et al., 2018; White et al., 2017), 例如在 Dalrymple 等人(2014)的研究中, 仅有 1/3 的 DPs 存在明显的感知缺陷, 即他们的成绩低于对照组平均成绩 2 个标准差。正是由于这种异质性现象, 关于 DPs 的面孔识别缺陷能否归因至面孔感知缺陷的这一问题, 一直是 DP 疾病缺陷成因争议的焦点, 下面我们将围绕这一问题进行讨论。

首先, 一些研究者提出了对于上述面孔感知能力测试缺陷诊断标准的质疑, 以及对于异质性这一概念新的解读方式。在一项基于 70 位 DPs 的 CFPT 结果的研究中发现, 与上述异质性现象类似的是, DPs 虽然在组水平上表现出显著的面孔感知缺陷, 但是在个体水平上并不是所有 DPs 都具有显著的面孔感知缺陷(Biotti et al., 2019)。对于这种个体水平上的异质性现象, 研究者认为即使一部分 DPs 的面孔感知能力处于正常范围内, 例如低于常模 1 个标准差, 也很难认为其具有完好的面孔感知能力, 因此可能难以通过 2 个标准差这种绝对的划分标准来评估 DPs 的面孔感知能力是否存在缺陷, 并且如果根据这一划分标准, DPs 内部仅有一部分个体存在感知缺陷, 那么相比于常人, DPs 将在整体 CFPT 成绩分布的末端才存在不成比例的下降现象, 但是相关证据并不支持这一假设。Biotti 等人(2019)按照 CFPT 成绩将所有被试分类为优、中、差三个分组后对比了 DPs 和对照组的表现之后发现, 不仅差组中 DPs 出现了比常人更多的错误, 优组中 DPs 的分数也不及常人, 说明 DPs 内部存在广泛的面孔感知问题, 这一结果说明 DPs 在组水平上表现出的面孔感知缺陷并不是由部分具有明显感知缺陷的个体数据驱动的, 而是 DPs 内部不同程度的, 但是广泛存在的面孔感知能力损伤造成的。该结论也与 Farah (1990)的观点相符, 即如果测试得当, 大多数视觉失认症患者都会表现出知觉缺陷, 并且这些缺陷是以连续的形式存在(即不同程度)。

其次, CFPT 较为宽松的时间限制可能也使得部分测试结果显示为正常范围内的个体, 实际的面孔感知能力依然不及常人, 正如 Biotti 等人(2019)所发现的那样。不同于面孔识别任务的短暂呈现和即时判断, CFPT 对于面孔的观察和判断时间可以持续一分钟, 因此可能允许了 DP 在较为宽松的时间限制下使用基于特征的, 反复性的加工策略, 目前相关研究也证明了更长的观察时间可以在一定程度上改善 DPs 的面孔识别表现(Stollhoff et al., 2010), 所以在更长观察时间的补偿作用下, CFPT 将相对难以非常灵敏地检测到 DPs 的面孔感知缺陷, 因此, 部分 DPs 显示的正常范围内的 CFPT 分数, 可能并不能有力证明其面孔感知能力的完好性。所以结合 Biotti 等人(2019)的研究结果, 可以认为 CFPT 依然在一定程度上支持了 DPs 面孔感知能力损伤的广泛性。

最后, CFPT 所表征的面孔感知能力与面孔识别能力之间具有相关性。Biotti 等人(2019)不仅报告了 DPs 在群体水平上明显的面孔感知和面孔识别缺陷, 并且发现了由 CFPT 表征的面孔感知能力和由 CFMT 表征的面孔识别能力具有显著正相关性。来自发展性研究的证据也支持了二者的紧密关系, 因为儿童 DPs 除了在新/旧面孔识别任务中显示出识别缺陷, 几乎也都在与 CFPT 类似的达特茅斯面孔感知测试中显示出明显的缺陷(Dalrymple et al., 2014; Dalrymple et al., 2017), 那么 DPs 很可能由于在面孔加工能力发育的早期, 面孔感知能力上的局限性影响了其面孔识别能力的发展。

综上, 尽管 CFPT 对于面孔感知能力的测量与面孔识别活动中前期的面孔感知编码、面孔特异性的感知编码可能不尽相同, 但是其依然对于 DPs 面孔感知能力的评估具有非常重要的参考价值, 而且与上述来自面孔感知编码阶段证据的结论类似的是, CFPT 的相关证据也支持了面孔感知缺陷的广泛性, 以及面孔感知缺陷对于面孔识别缺陷的解释性。

3. DP 面孔识别缺陷的认知神经解释

上述证据均表明 DPs 典型的面孔识别缺陷在很大程度上可能源于早期面孔感知编码上的不足, 那么

其面孔感知编码上的不足, 以及感知编码的不足对于识别缺陷的解释性又进一步反映了怎样的认知神经机制?

关于神经机制, 除了上文中提及的 FFA 和 OFA 的面孔选择性反应对于面孔识别的重要意义, OFA-FFA 连接也对于面孔识别能力也具有十分重要的作用。来自面孔感知能力训练的证据, 表明与面孔识别能力提升相关的神经机制变化, 是核心系统中 OFA-FFA 连接的增强(Degutis et al., 2007), 那么意味着 OFA-FFA 连接可能对于面孔识别能力至关重要。神经典型发育群体的静息态 MRI 研究结果也在一定程度上支持这一观点, 即 OFA-FFA 连接会随着年龄的增长而逐渐发育, 面孔识别能力也会随着年龄逐渐成熟。但是 OFA-FFA 连接在 DPs 中是明显损伤的: 成人 DPs 的 OFA-FFA 连接仅相当于 7~10 岁的正常儿童的发育水平(Song et al., 2015), 那么可以预期 DPs 的 OFA-FFA 连接问题可能会诱发面孔识别能力的不足。Zhao 等人(2018)的研究结果也发现在核心系统内部, OFA 和 FFA 是其中连接异常的两个枢纽, 即在核心系统内与这两个区域有关的静息态功能连接在很大程度上都受到了损伤, 核心系统中的 FFA 又与拓展系统之间的连接明显减少, 包含 OFA-FFA 在内的上述损伤的连接可以共同预测 DPs 的面孔识别缺陷。

虽然 OFA-FFA 连接减弱, 以及 OFA、FFA 面孔选择性活动减少对于 DPs 面孔识别缺陷都具有解释性, 但是二者的作用可能并不相同, 因为在 Degutis 等人(2007)的研究中伴随面孔识别能力提升的神经机制仅为 OFA-FFA 连接的增强, 而没有 OFA 和 FFA 面孔选择性反应的增加, 所以二者对于面孔识别活动起到的作用可能并不相同, 关于这一点我们将结合传统的面孔感知模型(Rossion, 2014)综合讨论二者的作用以及 DPs 潜在的认知神经缺陷。

根据传统的面孔感知理论, OFA 和 FFA 这两个脑区以及初级视觉皮层构成了“由粗到精”的整体面孔感知过程, 首先由初级视觉皮层传输面孔信息至 FFA (实际上还包括 pSTS)进行整体面孔检测, 如果与大脑中的面孔模板相匹配, 则会出现 FFA (和 pSTS)的面孔选择性反应, 该过程只需要较为粗糙的整体面孔信息即可完成。例如, 我们可以将 Mooney 图像这类并不具有清晰局部特征的图像识别为一张面孔, DPs 同样可以将该类图像识别为面孔(Rossion et al., 2011), 说明 DPs 也可以依赖较为粗糙的整体信息来检测面孔。但是实际上他们的检测精度相比于常人是有所下降的, 不仅因为其 FFA 的面孔选择性反应弱于常人, 而且在信息传递过程中, 其初级视觉皮层至 FFA (和 pSTS)的前馈连接也显示出了连接强度的减弱(Lohse et al., 2016)。随后, 通过 FFA 和 OFA 之间的连接通路(Solomon-Harris et al., 2016), FFA 将粗糙的整体面孔信息传递至 OFA, OFA 产生面孔选择性反应。与之相符的是, DPs 的 OFA 虽然也存在面孔选择性反应, 但是由于来自 FFA 前馈信息的减弱, 所以 OFA 也表现出面孔选择性反应的减弱, 所以 OFA 和 FFA 这两个脑区的面孔选择性反应的减弱可能反映为对于粗糙的整体面孔感知上的不足。

此外, 由于 OFA 涉及较小的感受野, 可以进行信息的精细加工, 因此 FFA 与 OFA 可以通过可重入式交互(re-entrant interaction), 将 FFA 中包含的全局且粗略的信息与 OFA 中包含的精细信息进行交互和整合, 用于构建个体面孔的精细表征。那么在 DPs 中, 更弱的 OFA-FFA 连接可能意味着其难以构建高度精细化的面孔表征。所以结合 OFA、FFA 的面孔选择性反应的作用, 可以说明这两个脑区各自的神经活动和脑区之间的连接在面孔感知编码中的作用并不相同, 前者涉及快速而粗糙的整体面孔检测, 后者涉及较为缓慢而精细的面孔特异性表征的构建, 那么二者在 DPs 中都表现出损伤, 说明 DPs 在“由粗到精”整体面孔感知编码上始终存在缺陷, 并且 Degutis 等人(2007)的证据强调了面孔感知编码中的精细表征的构建将更有助于快速提升 DPs 的面孔识别能力。

综上, DPs 典型的面孔识别缺陷在很大程度上可能源于早期面孔感知编码上的不足, 而其面孔感知编码上的不足则又进一步反映了“由粗到精”的整体面孔感知编码缺陷, 并且其中精细化的面孔感知编码可能更有助于改善 DPs 的面孔识别缺陷, 因此未来关于 DPs 的面孔识别缺陷将有望通过面孔感知的能力训练, 尤其是精细面孔加工的能力训练来进行针对性治疗以获得改善。

4. 总结与展望

几十年来, DPs 的面孔识别缺陷成因是学界始终关注的重要问题, 虽然其面孔识别过程中记忆维持和检索阶段的缺陷表现已经得到很多研究的证明, 但是关于其早期的感知编码阶段上是否存在损伤, 以及感知编码损伤能在多大程度上解释 DPs 整体面孔识别表现上的缺陷, 则仍存在争议。

本文通过梳理相关研究发现: 对于第一点, 无论是来自面孔识别活动中前期面孔感知编码阶段, 以及面孔特异性感知编码的神经证据, 还是来自面孔感知能力测试的行为学证据都共同反映了 DPs 面孔感知编码的损伤。对于第二点, 结合来自面孔识别过程中其他认知加工阶段的证据, 可以说明尽管 DPs 在记忆维持和检索阶段存在缺陷, 但是该记忆阶段的缺陷很可能不是自源性损伤, 而是来自早期面孔感知编码阶段的缺陷, 并且面孔感知编码的神经表征和能力测试可以预测 DPs 面孔识别行为学缺陷, 那么意味着早期的感知编码缺陷可能是 DPs 面孔识别缺陷的关键原因。并且该编码缺陷又进一步反映为在“由粗到精”的整体面孔感知编码上的不足, 其中精细的面孔感知编码能力与 DPs 的整体面孔识别缺陷具有更加紧密的关系。最后, 关于 DP 疾病, 仍存在很多问题值得未来进一步思考和探究。

第一, 相比于面孔识别, DPs 的面孔感知能力更具异质性。这一现象一方面可能受到 CFPT 较为宽松时间限制对于面孔感知缺陷检测的影响, 因此未来仍需要开发出更具灵敏的检测手段来评估 DPs 的面孔感知能力。另一方面, 该现象可能还受到来自实验研究中 DP 被试前期筛查工作倾向性的影响。一般认为面孔识别缺陷是 DP 的典型表现, 所以很多研究将面孔识别测量结果作为 DPs 前期筛选的必要指标, 例如在根据 CFMT 完成 DPs 筛查后, 再结合 CFPT 成绩辅助标记该患者的临床表现, 所以相比之下, 其 CFPT 分数可以相对自由地变化, 因此导致现有 DP 文献中包含许多在 CFMT 中具有明显缺陷而在 CFPT 中没有明显缺陷的个体。而结合前文, CFPT 中没有明显缺陷也难以充分地说明其面孔感知编码能力的完好性, 因此应用和推广更具灵敏性的面孔感知能力测试, 将有助于重新审视 DPs 面孔感知和面孔识别之间的关系, 以及目前的 DP 亚型划分工作的适用性。

第二, 除了面孔加工, DPs 是否在其他非面孔的视觉加工上存在异常表现? Lohse 等人(2016)的研究表明 DPs 由初级视觉皮层至 FFA 和 pSTS 的前馈连接较于常人更弱, 那么这种初级视觉皮层上更弱的视觉编码信息传递很有可能也存在于其他非面孔类别的编码过程中。Guo 等人(2018)的研究在一定程度上支持了这一猜测, 研究者发现 DPs 除了在面孔选择性加工的感兴趣区内具有更低的选择性反应, 在场景选择性加工和身体选择性加工两个类别的感兴趣区内都具有低于常人的选择性反应。该研究结果表明 DPs 的面孔加工缺陷很有可能并不是特异性损伤的, 即使其往往作为 DP 疾病的典型缺陷, 因此未来 DP 研究需要在考察面孔加工能力的同时, 同样关注 DP 的非面孔的视觉加工表现以全面认知 DP 疾病。

第三, 面孔识别能力作为一种重要的社会认知能力, 以面孔识别缺陷为典型症状的 DP 疾病是否与社会认知有关的激素或基因表达相关? 一些证据表明 DPs 的面孔识别缺陷与社会性认知加工活动的激素和基因之间具有相关性, 例如 DPs 的面孔感知和识别表现可以在吸入催产素——一种在多种社会行为中起到重要作用的神经肽后得到明显改善(Bate et al., 2014), 其面孔识别能力也被证明与催产素受体基因相关(Cattaneo et al., 2016)。与之相关的是, 在一名高功能孤独症儿童中也发现了催产素受体基因与面孔识别表现之间的相关性, 并且这种基因相关性也存在于其没有孤独症临床症状的父母和兄弟姐妹中(Skuse et al., 2014), 所以这种基因相关性似乎独立于特定的发展性疾病, 因此未来关于 DP 面孔加工缺陷相关基因的发现可能从神经典型发育群体相关的基因筛查工作中受益。

基金项目

本章节为国家自然科学基金青年科学基金项目(批准号: 31900750)、江苏师范大学自然科学研究基金

项目博士学位教师科研支持项目(资助编号: 18XLRX011)和江苏师范大学校级科研与实践创新项目(资助编号: 2020XKT851)等资金资助。

参考文献

- Avidan, G., Tanzer, M., Hadj-Bouziane, F., Liu, N., Ungerleider, L. G., & Behrmann, M. (2014). Selective Dissociation between Core and Extended Regions of the Face Processing Network in Congenital Prosopagnosia. *Cerebral Cortex*, *24*, 1565-1578. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht007>
- Bate, S., Bennetts, R. J., Tree, J. J., Adams, A., & Murray, E. (2019). The Domain-Specificity of Face Matching Impairments in 40 Cases of Developmental Prosopagnosia. *Cognition*, *192*, Article ID: 104031. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104031>
- Bate, S., Cook, S. J., Duchaine, B., Tree, J. J., Burns, E. J., & Hodgson, T. L. (2014). Intranasal Inhalation of Oxytocin Improves Face Processing in Developmental Prosopagnosia. *Cortex*, *50*, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.08.006>
- Biotti, F., Gray, K. L. H., & Cook, R. (2019). Is Developmental Prosopagnosia Best Characterised as an Apperceptive or Mnemonic Condition? *Neuropsychologia*, *124*, 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.11.014>
- Bowles, D. C., McKone, E., Dawel, A., Duchaine, B., Palermo, R., Schmalzl, L. et al. (2009). Diagnosing Prosopagnosia: Effects of Ageing, Sex, and Participant-Stimulus Ethnic Match on the Cambridge Face Memory Test and Cambridge Face Perception Test. *Cognitive Neuropsychology*, *26*, 423-455. <https://doi.org/10.1080/02643290903343149>
- Bruce, V., & Young, A. (1986). Understanding Face Recognition. *British Journal of Psychology*, *77*, 305-327. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1986.tb02199.x>
- Cattaneo, Z., Daini, R., Malaspina, M., Manai, F., Lillo, M., Fermi, V. et al. (2016). Congenital Prosopagnosia Is Associated with a Genetic Variation in the Oxytocin Receptor (OXTR) Gene: An Exploratory Study. *Neuroscience*, *339*, 162-173. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.09.040>
- Dalrymple, K. A., Elison, J. T., & Duchaine, B. (2017). Face-Specific and Domain-General Visual Processing Deficits in Children with Developmental Prosopagnosia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *70*, 259-275. <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1122642>
- Dalrymple, K. A., Garrido, L., & Duchaine, B. (2014). Dissociation between Face Perception and Face Memory in Adults, but Not Children, with Developmental Prosopagnosia. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *10*, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.07.003>
- DeGutis, J. M., Bentin, S., Robertson, L. C., & D'Esposito, M. (2007). Functional Plasticity in Ventral Temporal Cortex Following Cognitive Rehabilitation of a Congenital Prosopagnosic. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*, 1790-1802. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.11.1790>
- DeGutis, J., Cohan, S., & Nakayama, K. (2014). Holistic Face Training Enhances Face Processing in Developmental Prosopagnosia. *Brain*, *137*, 1781-1798. <https://doi.org/10.1093/brain/awu062>
- Dinkelacker, V., Gruter, M., Klaver, P., Gruter, T., Specht, K., Weis, S. et al. (2011). Congenital Prosopagnosia: Multistage Anatomical and Functional Deficits in Face Processing Circuitry. *Journal of Neurology*, *258*, 770-782. <https://doi.org/10.1007/s00415-010-5828-5>
- Duchaine, B., & Nakayama, K. (2006). The Cambridge Face Memory Test: Results for Neurologically Intact Individuals and an Investigation of Its Validity Using Inverted Face Stimuli and Prosopagnosic Participants. *Neuropsychologia*, *44*, 576-585. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.07.001>
- Duchaine, B., Yovel, G., & Nakayama, K. (2007). No Global Processing Deficit in the Navon Task in 14 Developmental Prosopagnosics. *Social Cognitive Affective Neuroscience*, *2*, 104-113. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm003>
- Farah, M. J. (1990). *Visual Agnosia*. MIT Press.
- Fisher, K., Towler, J., & Eimer, M. (2017). Face Identity Matching Is Selectively Impaired in Developmental Prosopagnosia. *Cortex*, *89*, 11-27. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.01.003>
- Furl, N., Garrido, L., Dolan, R. J., Driver, J., & Duchaine, B. (2011). Fusiform Gyrus Face Selectivity Relates to Individual Differences in Facial Recognition Ability. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*, 1723-1740. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21545>
- Gosling, A., & Eimer, M. (2011). An Event-Related Brain Potential Study of Explicit Face Recognition. *Neuropsychologia*, *49*, 2736-2745. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.05.025>
- Guo, J., Yang, H., & Duchaine, B. (2018). Developmental Prosopagnosics Have Widespread Selectivity Reductions across Category-Selective Visual Cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*, E6418-E6427. <https://doi.org/10.1073/pnas.1802246115>

- Haeger, A., Pouzat, C., Luecken, V., N'Diaye, K., Elger, C., Kennerknecht, I. et al. (2021). Face Processing in Developmental Prosopagnosia: Altered Neural Representations in the Fusiform Face Area. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 15, Article ID: 744466. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.744466>
- Hoffman, E. A., & Haxby, J. V. (2000). Distinct Representations of Eye Gaze and Identity in the Distributed Human Neural System for Face Perception. *Nature Neuroscience*, 3, 80-84. <https://doi.org/10.1038/71152>
- Huang, L., Song, Y., Li, J., Zhen, Z., Yang, Z., & Liu, J. (2014). Individual Differences in Cortical Face Selectivity Predict Behavioral Performance in Face Recognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article No. 483. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00483>
- Liu, X., Li, X., Song, Y., & Liu, J. (2021). Separate and Shared Neural Basis of Face Memory and Face Perception in Developmental Prosopagnosia. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 15, Article ID: 668174. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.668174>
- Lohse, M., Garrido, L., Driver, J., Dolan, R. J., Duchaine, B. C., & Furl, N. (2016). Effective Connectivity from Early Visual Cortex to Posterior Occipitotemporal Face Areas Supports Face Selectivity and Predicts Developmental Prosopagnosia. *Journal of Neuroscience*, 36, 3821-3828. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3621-15.2016>
- Mishra, M. V., Fry, R. M., Saad, E., Arizpe, J. M., Ohashi, Y. B., & DeGutis, J. M. (2021). Comparing the Sensitivity of Face Matching Assessments to Detect Face Perception Impairments. *Neuropsychologia*, 163, Article ID: 108067. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108067>
- Parketny, J., Towler, J., & Eimer, M. (2015). The Activation of Visual Face Memory and Explicit Face Recognition Are Delayed in Developmental Prosopagnosia. *Neuropsychologia*, 75, 538-547. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.009>
- Pertsov, Y., Krill, D., Weiss, N., Lesinger, K., & Avidan, G. (2020). Rapid Forgetting of Faces in Congenital Prosopagnosia. *Cortex*, 129, 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.04.007>
- Rivolta, D., Woolgar, A., Palermo, R., Butko, M., Schmalzl, L., & Williams, M. A. (2014). Multi-Voxel Pattern Analysis (MVPA) Reveals Abnormal fMRI Activity in Both the “Core” and “Extended” Face Network in Congenital Prosopagnosia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article No. 925. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00925>
- Robotham, R. J., & Starrfelt, R. (2018). Tests of Whole Upright Face Processing in Prosopagnosia: A Literature Review. *Neuropsychologia*, 121, 106-121. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.10.018>
- Rossion, B. (2014). Understanding Face Perception by Means of Prosopagnosia and Neuroimaging. *Frontiers in Bioscience-Elite*, 6, 258-307. <https://doi.org/10.2741/e706>
- Rossion, B., Dricot, L., Goebel, R., & Busigny, T. (2011). Holistic Face Categorization in Higher Order Visual Areas of the Normal and Prosopagnosic Brain: Toward a Non-Hierarchical View of Face Perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, Article No. 225. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00225>
- Shah, P., Gaule, A., Gaigg, S. B., Bird, G., & Cook, R. (2015). Probing Short-Term Face Memory in Developmental Prosopagnosia. *Cortex*, 64, 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.10.006>
- Skuse, D. H., Lori, A., Cubells, J. F., Lee, I., Conneely, K. N., Puura, K. et al. (2014). Common Polymorphism in the Oxytocin Receptor Gene (*OXTR*) Is Associated with Human Social Recognition Skills. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, 1987-1992. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302985111>
- Solomon-Harris, L. M., Rafique, S. A., & Steeves, J. K. (2016). Consecutive TMS-fMRI Reveals Remote Effects of Neural Noise to the “Occipital Face Area”. *Brain Research*, 1650, 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.08.043>
- Song, Y., Zhu, Q., Li, J., Wang, X., & Liu, J. (2015). Typical and Atypical Development of Functional Connectivity in the Face Network. *Journal of Neuroscience*, 35, 14624-14635. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0969-15.2015>
- Stollhoff, R., Jost, J., Elze, T., & Kennerknecht, I. (2010). The Early Time Course of Compensatory Face Processing in Congenital Prosopagnosia. *PLOS ONE*, 5, Article No. e11482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011482>
- Stumps, A., Saad, E., Rothlein, D., Verfaellie, M., & DeGutis, J. (2020). Characterizing Developmental Prosopagnosia beyond Face Perception: Impaired Recollection but Intact Familiarity Recognition. *Cortex*, 130, 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.04.016>
- Towler, J., & Eimer, M. (2016). Electrophysiological Evidence for Parts and Wholes in Visual Face Memory. *Cortex*, 83, 246-258. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.07.022>
- Towler, J., Fisher, K., & Eimer, M. (2018). Holistic Face Perception Is Impaired in Developmental Prosopagnosia. *Cortex*, 108, 112-126. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.07.019>
- White, D., Rivolta, D., Burton, A. M., Al-Janabi, S., & Palermo, R. (2017). Face Matching Impairment in Developmental Prosopagnosia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 70, 287-297. <https://doi.org/10.1080/17470218.2016.1173076>
- Williams, M. A., Berberovic, N., & Mattingley, J. B. (2007). Abnormal fMRI Adaptation to Unfamiliar Faces in a Case of

Developmental Prosopamnesia. *Current Biology*, 17, 1259-1264. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.042>

Zhao, Y., Zhen, Z., Liu, X., Song, Y., & Liu, J. (2018). The Neural Network for Face Recognition: Insights from an fMRI Study on Developmental Prosopagnosia. *Neuroimage*, 169, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.023>