

Differences between Conscious and Subliminal Processing of Facial Attractiveness: An ERP Study

Junchen Shang*, Xuejiao Hou

School of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning
Email: junchen_20081@163.com

Received: Jul. 23rd, 2020; accepted: Aug. 6th, 2020; published: Aug. 13th, 2020

Abstract

The present study used event related brain potential (ERP) technology and the continuous flash suppression (CFS) paradigm to compare the neural activities induced by facial attractiveness between conscious and subliminal conditions. We asked the participants to judge face gender in conscious condition. In subliminal condition, the CFS paradigm was used. The Mondrian patterns were presented in the dominant eye of the participants, while the faces were presented in the non-dominant eye. The participants were asked to report the contrast variation of the Mondrian patterns (In fact, we aimed to examine whether the participants can process facial attractiveness under subliminal condition). Results showed that in conscious condition, N170, P2, N3 and LPC induced by attractive faces were different with unattractive faces. The results of conscious condition showed that people can automatically extract facial attractiveness information. No effect of facial attractiveness was found in the subliminal condition. However, P2 and N3 induced by intact faces were different with scramble faces. The results of subliminal condition show that the subliminal condition can prevent the individuals from processing the facial attractiveness information. The processing of facial attractiveness requires consciousness.

Keywords

Facial Attractiveness, Consciousness, Subliminal Processing, ERP, Continuous Flash Suppression

面孔吸引力有意识加工和无意识加工的差异： 一项ERP研究

尚俊辰*, 侯雪娇

*通讯作者。

辽宁师范大学, 心理学院, 辽宁 大连
Email: junchen_20081@163.com

收稿日期: 2020年7月23日; 录用日期: 2020年8月6日; 发布日期: 2020年8月13日

摘要

本研究使用事件相关电位技术(Event Related Brain Potential, ERP)和连续闪烁抑制范式(Continuous Flash Suppression, CFS)对比了面孔吸引力在有、无意识条件诱发的神经活动。有意识条件下, 请被试判断面孔性别。无意识条件下, 使用CFS范式, 在优势眼呈现彩色噪音图, 同时非优势眼呈现低对比度的面孔, 请被试报告噪音图的对比度变化(实际是考察被试在不能意识到面孔存在的条件下能否加工面孔吸引力)。结果发现, 有意识条件下, 高、低吸引力面孔诱发了N170、P2、N3和LPC的差异。表明人们能自动提取面孔吸引力信息。无意识条件未发现面孔吸引力的效应, 但完整面孔和打散面孔诱发了P2和N3的差异。结果表明, 无意识条件会阻碍个体加工面孔吸引力信息, 面孔吸引力的加工需要意识的参与。

关键词

面孔吸引力, 意识, 无意识加工, ERP, 连续闪烁抑制

Copyright © 2020 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

人类向往成为美丽的人, 也乐于选择美丽的人成为自己的伴侣。“美丽”即吸引力(attractiveness), 在社会交往中扮演重要的角色。面孔吸引力(facial attractiveness)是人际印象的重要方面, 是指“目标人物面孔所诱发的积极愉悦的情绪体验并驱使他人产生一定程度的接近意愿”(寇慧等, 2013; 李鸥, 陈红, 2010)。当前是一个看脸的时代, 很多人不但追捧“小鲜肉”和“女神”, 还关注美容、美妆等时尚产业, 以提升自己的面孔吸引力。面孔吸引力能被快速的感知, 进而影响注意、时间知觉、学习、记忆和决策等认知过程(尚俊辰, 陈文锋, 季琬妍, 2018)。

近年来, 许多研究者使用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术探讨面孔吸引力加工所激活的脑区。研究发现, 面孔吸引力会激活与奖赏有关的脑区, 包括杏仁核(Winston, O'Doherty, Kilner, Perrett, & Dolan, 2007)、前扣带回(Cloutier, Heatherton, Whalen, & Kelley, 2008; Liang, Zebrowitz, & Zhang, 2010; Tsukiura & Cabeza, 2011a, 2011b)、伏隔核(Aharon et al., 2001; Cloutier et al., 2008; Liang et al., 2010)、眶额皮层(Cloutier et al., 2008; Liang et al., 2010; O'Doherty et al., 2003; Shen et al., 2016; Tsukiura & Cabeza, 2011a; Tsukiura & Cabeza, 2011b; Wang et al., 2015)、尾状核(Liang et al., 2010; Shen et al., 2016)、内侧前额叶皮层(Cloutier et al., 2008; O'Doherty et al., 2003)、壳核(Liang et al., 2010; Wang et al., 2015)和腹侧被盖区(Liang et al., 2010)等。虽然不同吸引力面孔对这些脑区激活程度差异不一致, 但多数研究发现高吸引力面孔对奖赏脑区激活程度更大(Shen et al., 2016; Tsukiura & Cabeza, 2011a; Wang et al., 2015)。表明高吸引力面孔是奖赏刺激。

另一些研究者使用具有较高时间分辨率的 ERP 技术探讨面孔吸引力引起的脑内时程动态变化。使用吸引力评价任务的研究中, Schacht, Werheid 和 Sommer (2008)发现高、低吸引力比中等吸引力面孔在 150 ms 左右诱发了更大的早期成分(在大脑后部为正波, 大脑前部为负波)及 LPC (Late positive component, 492~792 ms)。但该研究的面孔表情评分与吸引力评分相关。与以上研究类似, Marzi 和 Viggiano (2010)发现高吸引力比低吸引力面孔诱发波幅更大的 P2 (150~200 ms)、N170 (150~200 ms)和 LPC (300~500 ms)。张妍等控制了面孔的情绪效价、唤醒度和优势度, 发现高吸引力比低吸引力面孔诱发更大的 N3 和 LPC (350~550 ms) (张妍等, 2010; Zhang et al., 2011)。Lu, Wang, Wang, Wang 和 Qin (2014)发现高吸引力比低吸引力卡通面孔对男性诱发更大的 N170 和 LPC (400~600 ms), 而对女性来说, 高吸引力比低吸引力卡通面孔诱发更小的 N170, LPC 没有显著差异。Zhang 和 Deng (2012)使用 oddball 范式结合吸引力评价任务, 发现高吸引力比低吸引力面孔诱发更大的 P2 (150~230 ms)和 N3 (230~330 ms)。此外, 个别研究还发现面孔吸引力诱发了 EPN (early posterior negativity, Marzi & Viggiano, 2010)、P1 (陈红, 朱岚, 2012; Zhang & Deng, 2012)和 P3b (Zhang & Deng, 2012)的差异。很多使用与吸引力评价无关的任务的研究则发现面孔吸引力诱发了 N170 (Marzi & Viggiano, 2010; Zhang, Wei, Zhao, Zheng, & Zhang, 2016)、P2 (张妍等, 2010; Chen et al., 2012; Cui, Cheng, Lin, Lin, & Mo, 2019; Marzi & Viggiano, 2010; van Hooff, Crawford, & van Vugt, 2011; Zhang et al., 2011; Zhang et al., 2016)、N3 (张妍等, 2010; 张妍, 孔繁昌, 郭英, 任俊, 陈红, 2012; Zhang et al., 2011)和 LPC (张妍等, 2010; Chen et al., 2012; Cui et al., 2019; Ma, Hu, Jiang, & Meng, 2015; Ma, Qian, Hu, & Wang, 2017; Ma, Zhang, Pei, & Abdeljelil, 2017; Marzi & Viggiano, 2010; Pei & Meng, 2018; van Hooff et al., 2011; Wiese, Altmann, & Schweinberger, 2014; Zhang et al., 2011)的差异。此外, 个别研究还发现面孔吸引力诱发了 N1 (刘金平, 李藏, 2018; 张妍等, 2012)、N2 (汝涛涛等, 2017; 张妍等, 2012; Chen et al., 2012; Jin, Fan, Dai, & Ma, 2017; Ma et al., 2015; Ma, Zhang, Pei, & Abdeljelil, 2017; Marzi & Viggiano, 2010; Pei & Meng, 2018)、EPN (Wiese et al., 2014)、P1 (Zhang et al., 2016)和 P300 (Ma, Zhang, Pei, & Abdeljelil, 2017; Oliver-Rodriguez, Guan, & Johnston, 1999)的差异。

上述研究中, 面孔都是可见的, 缺少对面孔吸引力无意识加工的探讨。几项行为研究探讨了面孔吸引力的无意识加工, 认为面孔吸引力在无意识条件下仍能被加工。Olson 和 Marshuetz (2005)使用前掩蔽范式, 先呈现 39 ms 的前掩蔽刺激, 之后呈现 13 ms 的目标面孔刺激, 再呈现 39 ms 的后掩蔽刺激。要求被试尽可能判断目标面孔的吸引力。结果发现, 被试对高吸引力面孔的评分显著高于低吸引力面孔。说明尽管面孔呈现时间很短, 吸引力仍能被感知。Hung, Nieh 和 Hsieh (2016)使用突破连续闪烁抑制范式 (breaking continuous flash suppression, b-CFS), 在被试的优势眼呈现彩色噪音图(蒙德里安图片), 同时在非优势眼呈现一张面孔刺激, 目标面孔的对比度不断增加, 要求被试一旦看见面孔的任何部分就按键。结果发现, 高吸引力面孔比低吸引力面孔优先突破抑制进入意识。Nakamura 和 Kawabata (2018)认为不设置控制条件, 无法知晓美丽面孔的快速知觉是否仅是被试对其反应更快所致。因此 Nakamura 和 Kawabata 使用相同范式对实验进行完善, 实验中既有面孔被抑制成不可见的条件(优势眼呈现彩色噪音图, 非优势眼呈现面孔, 面孔的对比度不断增加), 又有面孔不被抑制的条件(即控制条件, 优势眼和非优势眼都呈现彩色噪音图, 面孔刺激在噪音图上叠加呈现, 且面孔刺激的对比度不断增加)。要求被试无论在哪个条件下, 一旦看到面孔的任何部位就立刻按键报告面孔所在位置。结果发现, 在面孔被抑制成不可见的条件下, 高吸引力面孔优先突破抑制进入意识, 验证了 Hung 等(2016)的研究。然而在面孔不被抑制的条件下, 吸引力没有影响知觉速度。表明面孔吸引力在无意识条件下能被加工, 人们对面孔吸引力的评价是自发的, 不一定依赖于对面孔的感知。但是 b-CFS 范式中, 面孔图片的对比度逐渐增加, 被试最终需要看到面孔的一部分才做反应, 体现了目标刺激从不可见到可见的过程。其反应时间不能反映严格意义的无意识加工。Tsikandilakis, Bali 和 Chapman (2018)发现了不同于前三项研究的结果。他们使用后掩蔽范式将

刺激呈现 33.33 ms, 让被试判断看到的图片是不是面孔。如果看到的是面孔, 被试则判断面孔表情和评价吸引力。如果看到的不是面孔, 则报告自己的情绪体验并评价刺激的吸引力。结果发现, 被试在面孔能正确探测的情况下, 对高吸引力面孔的评分要高于较低吸引力面孔。但是, 对面孔不能正确探测的情况下, 吸引力评分没有显著差异, 表明吸引力的评价需要意识。但该研究刺激呈现时间较长, 而且对意识的检测不够严格, 即使被试报告看到的不是面孔, 也不能保证被试没有有意识的感知到该刺激, 可能只是没看清楚刺激是什么, 因此不能保证被试不能意识到面孔存在。

上述研究都是通过行为指标, 只能对面孔吸引力加工进行间接的推测, 不能直接反映无意识条件下大脑对面孔吸引力加工的机制, 也不清楚面孔吸引力在有、无意识条件下诱发的神经活动是否相同。因此, 本研究在有意识条件下使用性别判断任务, 在无意识条件下使用 CFS 范式, 借助 ERP 技术记录面孔吸引力在有、无意识条件下诱发的脑电活动。以往研究使用 CFS 范式探讨了面孔表情加工的神经机制, Jiang 等(2009)发现, 当面孔不可见时, 与中性面孔和打散面孔相比, 恐惧面孔诱发了更大的 N1。随后, Jiang, Wu, Saab, Xiao 和 Gao (2018)发现, 当被试不能意识到面孔存在时, 与中性面孔相比, 恐惧面孔诱发了更大的晚期成分。尽管两个研究都使用 CFS 范式探讨的都是面孔表情加工, 但结果并不一致。另外, 表情研究以不同表情的刺激图片为实验材料, 而本研究使用中性表情的面孔, 面孔表情加工与面孔吸引力加工可能存在差异。本研究假设: 在使用严格的意识检测任务前提下, 无意识条件下被试不能对面孔吸引力进行加工, 有意识条件下面孔吸引力会诱发早期成分和晚期成分的差异。

2. 方法

2.1. 被试

招募 50 名高校学生参加实验(23 男, 27 女, $M = 22.04$ 岁, $SD = 2.47$ 岁), 剔除 9 名被试的数据(其中, 3 名被试能看到最低对比度的面孔。5 名被试在意识检测阶段的正确率不在二项分布的有效范围内, 表明其对面孔是否呈现的判断超出随机水平, 面孔对其可见。1 名被试的脑电数据在去伪迹时统计值过高导致不能叠加平均), 剩余有效被试 41 人(17 男, 24 女)。所有被试之前都未参加过类似实验, 视力或矫正视力正常, 无精神类疾病。被试在实验前签订知情同意书, 实验结束后给予相应的报酬, 本实验经辽宁师范大学伦理委员会批准。

2.2. 实验材料和仪器

从 CUHK Face Sketch Database (CUFS, Wang & Tang, 2009)和 CAS-PEAL Face Database (Gao et al., 2008)两个图片库中挑选出 495 张面孔图片与以往研究(Wang, Tong, Shang, & Chen, 2019)中的 244 张图片合并, 共包括 443 张男性面孔和 296 张女性面孔。本研究先招募了 33 名没有参加正式实验的高校学生(20 女, 13 男, $M = 21.30$ 岁, $SD = 2.14$ 岁)对面孔材料进行评定, 要求被试对每张图片的吸引力水平进行 7 点评分(1 = 吸引力水平最低, 4 = 吸引力中等, 7 = 吸引力水平最高)。从中选取 120 张面孔图片作为 ERP 实验中的材料, 其中, 高、低吸引力各 60 张, 男女各半。对两组面孔图片的吸引力评分进行单因素方差分析, 结果显示: 高吸引力面孔($M = 4.31$, $SD = 0.62$)的吸引力评分显著高于低吸引力面孔($M = 2.18$, $SD = 0.12$), $F(1, 118) = 693.21$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.855$, 95% CI [0.82, 0.88]。

使用 Photoshop CS 软件将 120 张面孔图片尺寸统一为 120×180 像素, 作为原始面孔刺激。对 120 张原始图片的对比度进行调整, 分别调成三个档次(分别是原始图片对比度的 10%、20%和 30%)。另外, 使用 Matlab R2012b 软件, 按 8×8 像素将每张原始面孔刺激打成若干小块, 将小块的顺序打乱重新随机排列组合生成 120 张打散图。同样对原始打散图的对比度进行调整, 分别调成三个档次(分别是原始打散图对比度的 10%、20%和 30%)。选择 20 张蒙德里安图片作为噪音图, 大小与面孔图片相同, 其中 10 张

用作 CFS 正式实验, 10 张用作填充实验(再将其中的 5 张噪音图对比度调低 50%)。在 120 张正式实验图片之外的面孔中选出 20 张作为练习图片, 用相同的方法生成相对应的三个对比度的练习图片和练习的打散图。

用 E-prime 2.0 软件编制实验程序, 刺激在宽为 59.8 cm, 高为 33.6 cm 的 AOC 液晶显示器(屏幕分辨率为 1024×768 , 刷新频率为 100 Hz)上呈现。实验在无噪音的暗室内进行, 保证被试坐在椅子上的舒适程度, 用头托固定被试的头部。使用平面立体镜将电脑左右两侧图像分别反射至被试的左眼和右眼。

2.3. 实验设计

采用 2 (面孔吸引力水平: 高、低) \times 2 (面孔性别: 男、女) 被试内实验设计。自变量是面孔吸引力和面孔性别。有意识条件的因变量是 N170、P2、N3 和 LPC 的平均波幅, 无意识条件的因变量是 N170、P2 和 N3 的平均波幅。

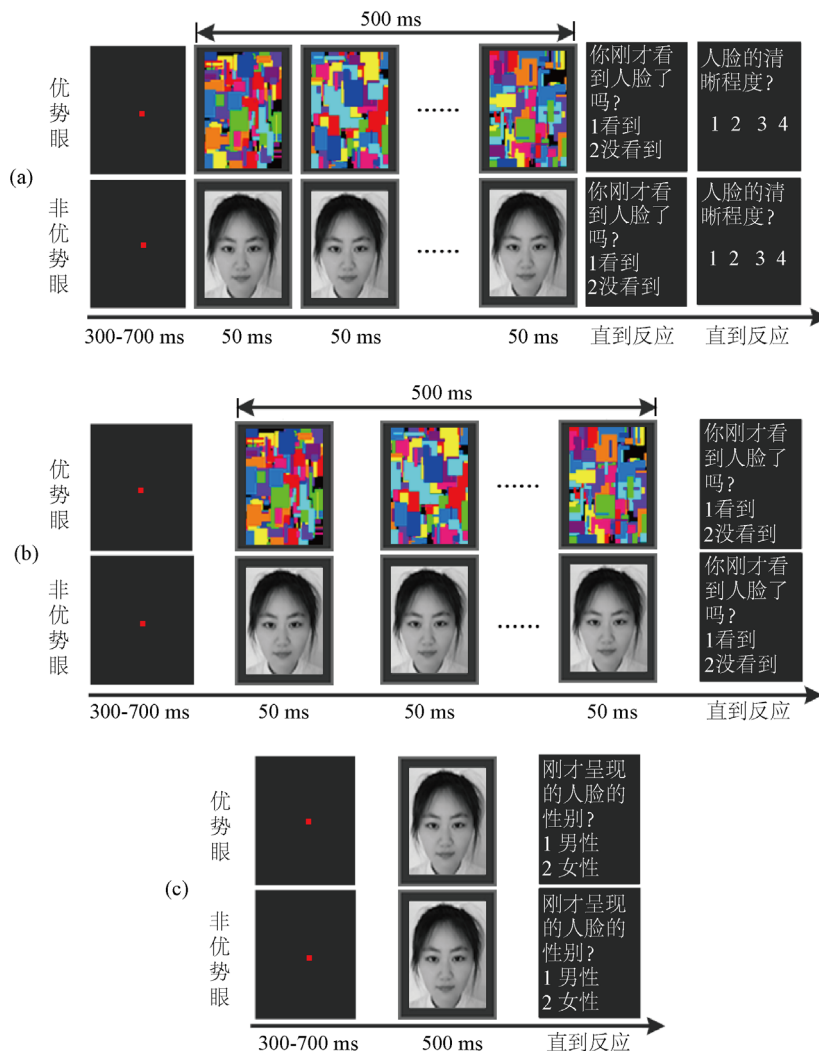
2.4. 实验程序及被试任务

首先用 Dolman 法(Anderson, Siegel, White, & Barrett, 2012)测定被试的优势眼。请被试正面坐在屏幕前面, 被试眼睛与屏幕中心的距离为 1 m。首先, 我们通过一个调试程序对每一名被试进行平面立体镜校正, 直到两侧的图像很好地在视野中央融合。正式实验分为无意识和有意识两部分, 被试先做无意识部分, 再做有意识部分。

无意识条件包括三个部分(调整对比度、CFS 正式实验、意识检测), 程序改编自 Jiang 等(2009)和 Jiang 等(2018)。首先, 调整图片对比度任务用来找到适合被试的对比度等级, 保证目标面孔不可见(见图 1(a))。双眼同时呈现中央注视点, 注视点与屏幕中心的距离为 9.2 cm。300~700 ms 后, 优势眼的方框中呈现彩色噪音图, 以 20 Hz 的频率变化。同时, 非优势眼的方框中呈现低对比度面孔图片。面孔图片和噪音图片的视角相同($4.1^\circ \times 4.5^\circ$), 呈现时间为 500 ms。图片消失之后, 请被试回答两个问题。第一, 是否看到面孔, 看到按 1, 没看到按 2。第二, 看到人脸的清晰程度, 1 代表完全没看到, 2 代表模糊地看到, 3 代表几乎清楚地看到, 4 代表完全清楚地看到。被试根据实际情况作答即可, 至此一个试次结束。对比度调整部分共包括 6 个练习试次和 20 个正式试次, 面孔呈现的顺序随机。若被试看不到对比度为原始图片对比度的 30% 的面孔刺激(第一题答对的次数小于 14, 且对第二个问题的答案是完全看不到的试次大于 14), 程序就会自动跳转到含有该对比度面孔的 CFS 正式实验。若被试能看到该对比度的面孔刺激(第一题答对的次数大于 14, 且对第二个问题的答案是完全看不到的试次小于 14), 程序就会跳转到对比度低一级的对比度调整程序。以此类推, 若被试仍能看到对比度为原始图片对比度的 10% 的面孔, 程序就会跳转到结束部分, 说明面孔一直对被试是可见的, 该被试不能参加正式 CFS 实验。CFS 正式实验(见图 1(b))的具体流程和调整对比度部分大体一致, 但是不需要被试回答看到人脸的清晰程度。另外, CFS 正式实验部分还加入了填充试次。填充试次的目的是让被试集中注意力, 被试的优势眼呈现噪音图, 其中五张噪音图的对比度调低 50%, 同时非优势眼只呈现外周方框。CFS 正式实验中, 要求被试判断噪音图的亮度是否变暗, 如果发现变暗, 就要立刻按“↓”键, 被试按键的试次数据不分析。正式实验之前, 被试先做 10 个练习试次。CFS 正式实验共包括 720 个试次, 面孔呈现的顺序随机。对于 120 张完整面孔图片, 每张面孔呈现 4 次。对于 120 张打散面孔图片, 每张面孔呈现 1 次。被试做完 60 个试次就休息一分钟。最后, 为检验被试是否不能意识到面孔存在, 设置了意识检测部分(见图 1(a))。意识检测的实验流程和调整对比度实验完全相同。被试先做 6 个练习试次, 共包括 240 个试次, 面孔呈现顺序随机, 被试做完 60 个试次就休息一分钟。每张面孔呈现 1 次。

有意识部分中(见图 1(c)), 实验图片和无意识条件一致。被试先进行练习实验, 共 6 个试次。正式实

验中, 先呈现注视点。300~700 ms 后, 呈现面孔图片, 呈现时间为 500 ms。之后请被试判断面孔性别, 认为面孔是男性就按 1, 女性就按 2。这部分共包括 360 个试次, 共 120 张面孔, 每张面孔呈现 3 次。面孔刺激呈现的顺序随机, 被试做 60 个试次就休息一次。



注 1) (a)表示无意识条件调整对比度和意识检测的流程; (b)表示无意识条件 CFS 正式实验的流程; (c)表示有意识条件的流程图。

Figure 1. Schematic illustration

图 1. 流程图

2.5. EEG 数据记录和分析

使用德国 Brain Products 公司的 64 导 ERP 记录与分析系统采集数据, 采样频率为 500 Hz, 以双侧乳突作为参考电极点, 接地点在 FPz 和 Fz 中间, 另有一个电极记录眼电。所有电极处的头皮电阻保持在 5 K Ω 以下, 在完成连续记录 EEG 之后进行离线(offline)处理数据。使用 Analyzer 2.0 软件对数据进行预处理, 滤波带通为 0.01~30 Hz。分别分析有、无意识条件下面孔出现后所诱发的 ERP, 对-200~1000 ms 的数据进行分段和叠加平均。分析时程为面孔出现后 1000 ms, 用面孔出现前的 200 ms 作为基线进行校正。另外, 排除伴有眨眼、肌电等伪迹的数据, 以 $\pm 80 \mu\text{V}$ 为排除标准。

根据前人研究和本研究得到的波形图, 最终分析的成分和时间窗口为 N170 (130~180 ms) (Marzi & Viggiano, 2010)、P2 (190~240 ms) (Huffmeijer, Eilanger, Mileva-Seitz, & Rippe, 2018)、N3 (280~380 ms) (Zhang et al., 2011; Zhang & Deng, 2012)和 LPC (450~560 ms) (Ma, Zhang, Pei, & Abdeljelil, 2017)。分别对面孔诱发的脑电成分的平均波幅做 2 (面孔吸引力水平: 高、低) × 2 (面孔性别: 男、女) × 3 (区域: 左、中、右) × 5 (脑区: 额区、额中区、中央区、中央顶区、顶区)重复测量方差分析, 用 Greenhouse-Geisser 对不符合球形假设的结果进行校正。

3. 结果

3.1. 确保面孔处于不可见的筛选

为确保正式实验中被试看不到面孔, 使用二项分布来分析意识检测任务的正确率, 以剔除能看到面孔的被试。 $\mu = np = 120$, $\sigma = \sqrt{npq} = 7.75$, 二项分布正确率的上限为: $(\mu + 1.645\sigma)/240 = 0.5531$, 下限为: $(\mu - 1.645\sigma)/240 = 0.4469$, 因此有效范围为(0.4469, 0.5531), 正确率在此范围内即是随机水平。凡是正确率大于 0.5531 或者小于 0.4469 的被试, 表明其能看到面孔, 并将其数据剔除。共剔除 4 名男性, 1 名女性。

在无意识条件 CFS 正式实验部分中, 将被试反应为“看到面孔”的试次的 ERP 数据剔除, 只分析反应为“没看到面孔”的试次。CFS 正式实验中总试次为 29520 个, 其中剔除 200 个无效试次, 无效试次占总试次的 0.68%。

3.2. ERP 结果

3.2.1. 有意识条件

N170 (130~180 ms): 面孔吸引力、面孔性别和区域交互作用显著, $F(2, 80) = 3.52$, $p = 0.034$, $\eta_p^2 = 0.081$, 95% CI [0, 0.17]。简单简单效应检验发现, 在左侧区域, 高吸引力男性面孔($M = -4.66 \mu\text{V}$, $SD = 3.20 \mu\text{V}$)比低吸引力男性面孔($M = -4.29 \mu\text{V}$, $SD = 3.64 \mu\text{V}$)诱发更大的 N170, $F(1, 40) = 26.27$, $p < 0.001$, 95% CI [0.20, 0.54]。在中间区域, 高吸引力男性面孔($M = -6.08 \mu\text{V}$, $SD = 3.63 \mu\text{V}$)比低吸引力男性面孔($M = -5.78 \mu\text{V}$, $SD = 3.74 \mu\text{V}$)诱发更大的 N170, $F(1, 40) = 26.38$, $p < 0.001$, 95% CI [0.20, 0.54], 高吸引力女性面孔($M = -6.49 \mu\text{V}$, $SD = 3.23 \mu\text{V}$)比低吸引力女性面孔($M = -6.24 \mu\text{V}$, $SD = 3.72 \mu\text{V}$)诱发更大的 N170, $F(1, 40) = 12.05$, $p = 0.001$, 95% CI [0.06, 0.39]。在右侧区域, 高吸引力女性面孔($M = -4.89 \mu\text{V}$, $SD = 2.86 \mu\text{V}$)比低吸引力女性面孔($M = -4.54 \mu\text{V}$, $SD = 3.19 \mu\text{V}$)诱发更大的 N170, $F(1, 40) = 12.12$, $p = 0.001$, 95% CI [0.06, 0.39]。面孔吸引力的主效应以及面孔吸引力与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 1.12$, $p_s > 0.35$ 。

P2 (190~240 ms): 面孔吸引力、面孔性别和脑区交互作用显著, $F(1.54, 61.48) = 3.77$, $p = 0.039$, $\eta_p^2 = 0.086$, 95% CI [0, 0.20]。简单简单效应检验发现, 在每一脑区, 高吸引力男性面孔都比低吸引力男性面孔诱发更大的 P2, $F_s > 5.64$, $p_s < 0.023$ 。在中央区, 高吸引力女性面孔($M = -0.57 \mu\text{V}$, $SD = 4.76 \mu\text{V}$)比低吸引力女性面孔($M = -0.62 \mu\text{V}$, $SD = 4.33 \mu\text{V}$)诱发更大的 P2, $F(1, 40) = 50.75$, $p < 0.001$, 95% CI [0.37, 0.67], 然而在其他四个脑区, 低吸引力女性面孔比高吸引力女性面孔诱发更大的 P2, $F_s > 19.81$, $p_s < 0.001$ 。另外, 面孔吸引力的主效应以及面孔吸引力与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 2.96$, $p_s > 0.08$ 。

N3 (280~380 ms): 面孔吸引力和脑区交互作用显著, $F(1.79, 71.54) = 3.78$, $p = 0.032$, $\eta_p^2 = 0.086$, 95% CI [0, 0.19]。此外, 面孔吸引力、面孔性别和脑区交互作用显著, $F(1.55, 61.85) = 3.63$, $p = 0.043$, $\eta_p^2 = 0.083$, 95% CI [0, 0.20]。简单效应检验发现, 在每一脑区, 低吸引力女性面孔都比高吸引力女性

面孔诱发更大的 N3, $F_s > 77.61$, $ps < 0.001$ 。在顶区, 低吸引力男性面孔($M = 1.31 \mu\text{V}$, $SD = 3.38 \mu\text{V}$)比高吸引力男性面孔($M = 1.17 \mu\text{V}$, $SD = 3.61 \mu\text{V}$)诱发更大的 N3, $F(1, 40) = 42.61$, $p < 0.001$, 95% CI [0.32, 0.63], 然而在其他四个脑区, 高吸引力男性比低吸引力男性诱发更大的 N3, $F_s > 14.15$, $ps < 0.002$ 。另外, 面孔吸引力的主效应以及面孔吸引力与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 3.16$, $ps > 0.08$ 。

LPC (450~560 ms): 面孔吸引力和面孔性别交互作用显著, $F(1, 40) = 4.11$, $p = 0.049$, $\eta_p^2 = 0.093$, 95% CI [0, 0.25]。简单效应检验发现, 女性面孔吸引力的简单效应显著, $F(1, 40) = 4.23$, $p = 0.046$, 95% CI [0, 0.25], 高吸引力女性面孔($M = -0.65 \mu\text{V}$, $SD = 4.77 \mu\text{V}$)比低吸引力女性面孔($M = -1.80 \mu\text{V}$, $SD = 3.52 \mu\text{V}$)诱发更大的 LPC。另外, 面孔吸引力的主效应以及面孔吸引力与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 2.26$, $ps > 0.12$ 。

3.2.2. 无意识条件

N170 (130~180 ms): 面孔吸引力的主效应以及与面孔吸引力有关的交互作用皆不显著, $F_s < 1.69$, $ps > 0.19$ 。

P2 (190~240 ms): 面孔吸引力的主效应以及与面孔吸引力有关的交互作用皆不显著, $F_s < 0.75$, $ps > 0.45$ 。

N3 (280~380 ms): 面孔吸引力的主效应以及与面孔吸引力有关的交互作用皆不显著, $F_s < 1.15$, $ps > 0.33$ 。

3.2.3. 补充结果: 对无意识条件完整面孔和打散面孔的分析

虽然无意识条件没发现面孔吸引力效应, 但为检验被试能否对面孔进行一定程度加工, 我们对完整面孔和打散面孔进行了分析。根据无意识条件脑电波波形, 对面孔诱发的 P2 (210~260 ms)和 N3 (310~380 ms)的平均波幅做 2 (面孔结构: 完整、打散) \times 3 (区域: 左、中、右) \times 5 (脑区: 额区、额中区、中央区、中央顶区、顶区)重复测量方差分析。

在 P2 (210~260 ms)成分上, 面孔结构和脑区交互作用显著, $F(1.48, 59.35) = 5.49$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.121$, 95% CI [0.02, 0.24]。简单效应检验发现, 无论在哪个脑区, 面孔结构的简单效应都显著, $F_s > 25.63$, $ps < 0.001$ 。在额区和额中区, 打散面孔比完整面孔诱发更大的 P2, $F_s > 25.63$, $ps < 0.001$, 然而在中央区、中央顶区和顶区, 完整面孔比打散面孔诱发更大的 P2, $F_s > 49.11$, $ps < 0.001$ 。面孔结构的主效应以及面孔结构与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 2.96$, $ps > 0.05$ 。

在 N3 (310~380 ms)成分上, 面孔结构和脑区交互作用显著, $F(1.64, 65.75) = 3.90$, $p = 0.032$, $\eta_p^2 = 0.089$, 95% CI [0, 0.20]。简单效应检验发现, 无论在哪个脑区, 完整面孔都比打散面孔诱发更大的 N3, $F_s > 24.96$, $ps < 0.001$ 。面孔结构的主效应以及面孔结构与其他变量的交互作用皆不显著, $F_s < 1.51$, $ps > 0.19$ 。

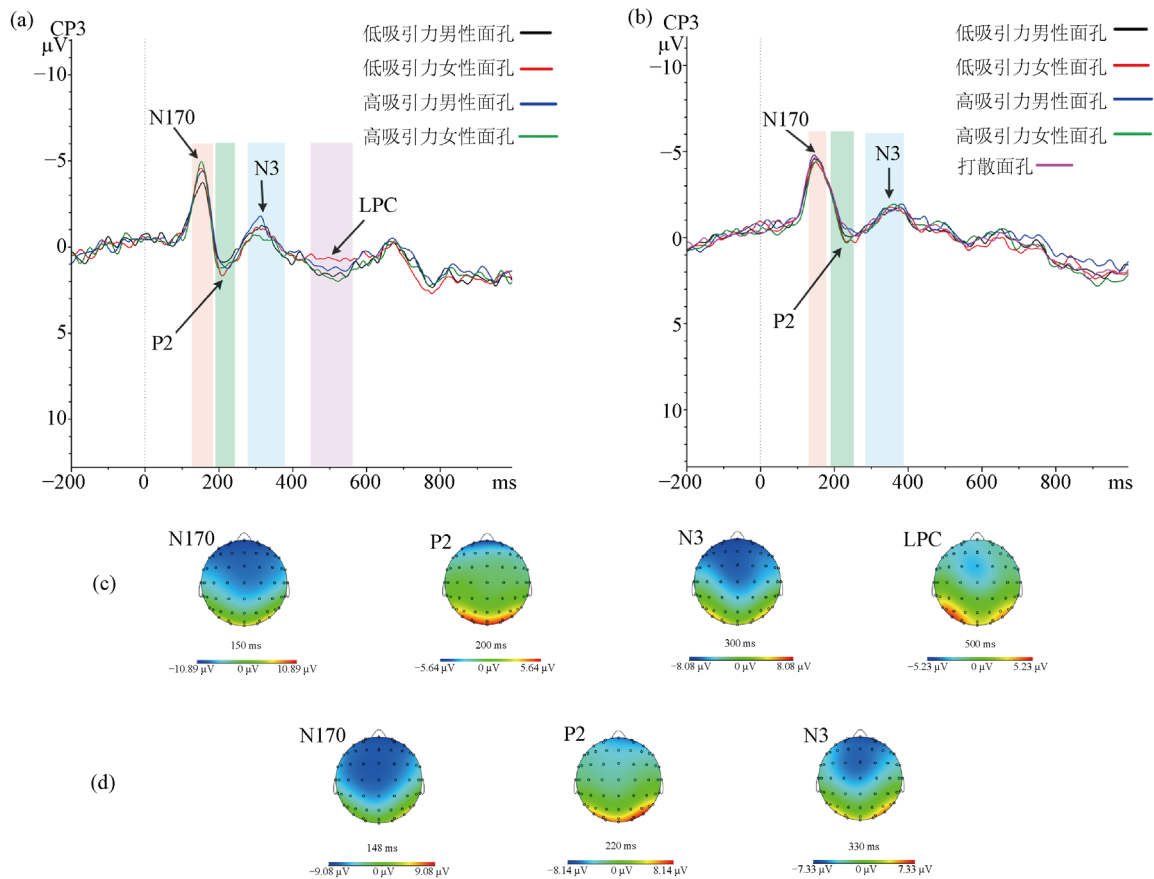
4. 讨论

通过呈现不同性别、吸引力水平的面孔, 让被试在有意识条件判断面孔性别, 在无意识条件(CFS 范式)观察噪音图对比度变化, 考察面孔吸引力在有、无意识条件下加工诱发的神经活动。结果发现, 有意识条件下: 1) 在左侧和中间区域, 高吸引力男性面孔比低吸引力男性面孔诱发更大的 N170。在右侧和中间区域, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 N170。2) 在每一脑区(额区、额中区、中央区、中央顶区和顶区), 高吸引力男性面孔都比低吸引力男性面孔诱发更大的 P2。在中央区, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 P2, 然而在其他脑区, 低吸引力女性面孔比高吸引力女性面孔诱发更大的 P2。3) 在每一脑区, 低吸引力女性面孔都比高吸引力女性面孔诱发更大的 N3。在顶区, 低吸引力男性面孔比高吸引力男性面孔诱发更大的 N3, 然而在其他脑区, 高吸引力男性面孔比低吸引力男性

面孔诱发更大的 N3。4) 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 LPC。无意识条件下, 未发现面孔吸引力的效应。进一步对无意识条件完整面孔和打散面孔进行分析, 结果发现: 在额区和额中区, 打散面孔比完整面孔诱发更大的 P2, 然而在中央区、中央顶区和顶区, 完整面孔比打散面孔诱发更大的 P2。另外, 无论在哪一脑区, 完整面孔都比打散面孔诱发更大的 N3。

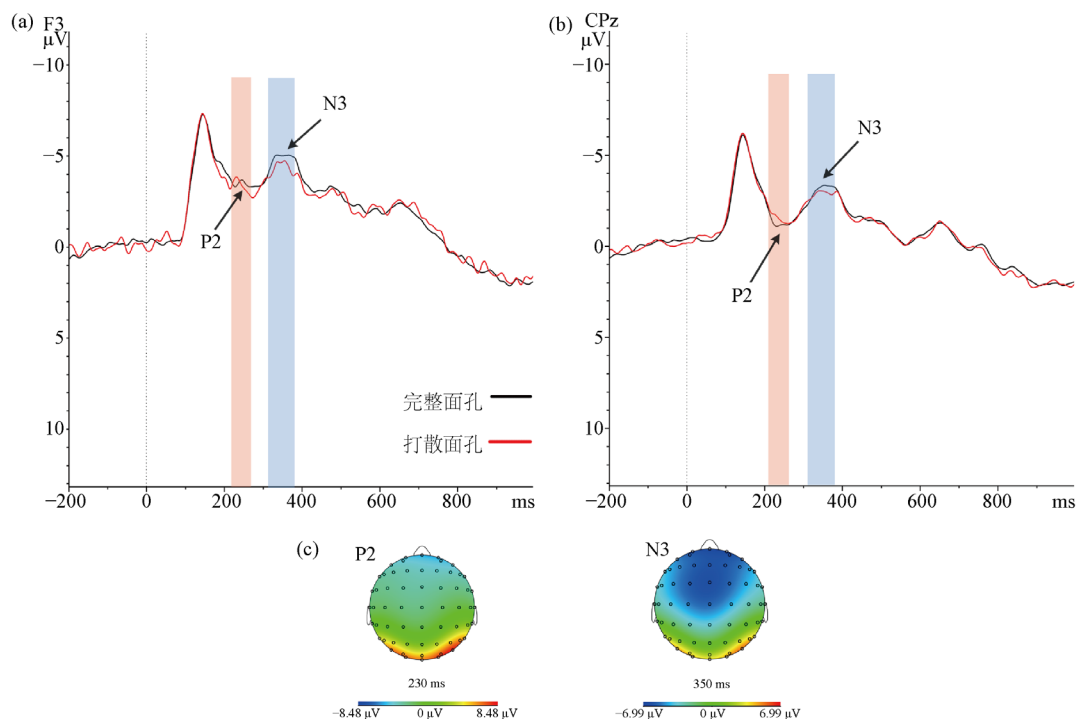
4.1. 对有意识条件结果的讨论

本研究发现, 在左侧和中间区域, 高吸引力男性面孔比低吸引力男性面孔诱发更大的 N170。在右侧和中间区域, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 N170。该结果与 Marzi 和 Viggiano (2010) 发现的高吸引力面孔比低吸引力面孔诱发更大的 N170 的结果相似。但是, 本研究将面孔性别作为一个自变量, 而 Marzi 和 Viggiano 选用的面孔有男有女, 并没将面孔性别作为一个重要的因素来分析, 可能混淆实验结果。研究表明, N170 与面孔结构编码有关(丁小斌, 康铁君, 赵鑫, 付军军, 2018; Huffmeijer et al., 2018; Marzi & Viggiano, 2010), 受情绪影响(Marzi & Viggiano, 2010), 具有自动化加工的性质(侠牧, 李雪榴, 叶春, 李红, 2014)。以往 fMRI 研究也为本研究提供了支持。Aharon 等(2001)发现, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔在右侧眶额皮层、双侧伏隔核、右侧豆状核下的杏仁核延伸部和双侧腹侧



注 2) (a) 表示有意识四种条件(低吸引力男性面孔、低吸引力女性面孔、高吸引力男性面孔、高吸引力女性面孔)在 CP3 电极点所诱发的脑电成分总平均波形图; (b) 表示无意识五种条件(低吸引力男性面孔、低吸引力女性面孔、高吸引力男性面孔、高吸引力女性面孔、打散面孔)在 CP3 电极点所诱发的脑电成分总平均波形图; (c) 的四个图分别表示有意识 CP3 电极点所诱发的 N170、P2、N3 和 LPC 成分的地形图; (d) 的三个图分别表示无意识 CP3 电极点所诱发的 N170、P2 和 N3 成分的地形图。

Figure 2. ERP effect
图 2. ERP 效应



注 3) (a) 表示无意识完整面孔和打散面孔在 F3 电极点所诱发的脑电成分总平均波形图; (b) 表示无意识完整面孔和打散面孔在 CPz 电极点所诱发的脑电成分总平均波形图; (c) 表示无意识 F3 电极点所诱发的 P2 和 N3 成分的地形图。

Figure 3. The face structure effect

图 3. 面孔结构效应

被盖区的激活程度更大。高吸引力男性面孔比低吸引力男性面孔在左侧腹侧被盖区的激活程度更大。

本研究发现,在每一脑区,高吸引力男性面孔都比低吸引力男性面孔诱发更大的 P2,该结果与一些研究(Marzi & Viggiano, 2010; Zhang & Deng, 2012)发现的高吸引力面孔诱发更大的 P2 相似。但是,Marzi 和 Viggiano (2010)以及 Zhang 和 Deng (2012)的面孔有男有女,却没分析面孔性别。P2 与视觉编码(Huffmeijer et al., 2018)、注意(Huffmeijer et al., 2018; Muñoz & Martín-Loeches, 2015; van Hooff et al., 2011)、工作记忆(Huffmeijer et al., 2018)、情绪(Marzi & Viggiano, 2010)有关,反映了对面孔吸引力的快速自动知觉和对面孔低水平特征结构的分析(张妍等, 2010; Chen et al., 2012; Schacht et al., 2008; Zhang & Deng, 2012)。本研究 P2 的趋势与一些研究(Chen et al., 2012; Cui et al., 2019; Muñoz & Martín-Loeches, 2015; van Hooff et al., 2011)不一致。例如,Chen 等(2012)使用信任决策任务,发现高吸引力面孔在额区和额中区诱发较小的 P2。但是 Chen 等没有分析面孔性别,可能混淆实验结果。Muñoz 和 Martín-Loeches (2015)使用吸引力评价任务,发现低吸引力图片比高和中等吸引力图片诱发更大的 P2,他们的研究材料包括面孔和身体图片,并没有单独分析面孔吸引力,P2 的差异不一定是面孔吸引力加工导致的。而本研究仅分析了面孔吸引力的效应,P2 的差异仅代表了面孔吸引力加工的作用。van Hooff 等(2011)使用内隐朝向任务,发现高、低吸引力面孔比中等吸引力面孔诱发更大的 P2, van Hooff 等使用的高吸引力和低吸引力面孔的独特性评分比中等面孔的高,独特的面孔较吸引被试的注意。而且,高、低吸引力面孔出现的频率比中等吸引力面孔低,能引起被试的注意,这些因素可能导致 P2 的趋势与本研究不同。Cui 等(2019)发现,在心灵美评价任务中,低吸引力比高吸引力面孔诱发更大的 P2。他们使用心灵美评价任务,而本研究使用性别判断任务,任务的差异可能导致结果的不同。此外,也有研究使用性别判断任务却没发现 P2 的差异(Schacht et al., 2008; Wiese et al., 2014)。可能是 Schacht 等(2008)的面孔表情评分与吸引力评分相关,

Wiese 等(2014)控制了面孔的独特性, 两研究对材料的控制和本研究不一致, 导致结果之间存在差异。本研究还发现, 在中央区, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 P2, 这一结果与一些研究发现的 P2 结果部分相似(张妍等, 2010; Zhang et al., 2011)。然而在其他四个脑区, 低吸引力女性面孔比高吸引力女性面孔诱发更大的 P2。fMRI 研究发现, 高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔在双侧伏隔核的激活程度更大, 而高吸引力男性面孔比低吸引力男性面孔在双侧伏隔核的激活程度更小(Aharon et al., 2001)。该 fMRI 研究支持了本研究发现的男性和女性面孔吸引力趋势不一致的结果。

有意识条件还发现, 在每一脑区, 低吸引力女性面孔都比高吸引力女性面孔诱发更大的 N3。N3 的趋势与前人研究(张妍等, 2010; Zhang et al., 2011)相反, 也许是这些研究都没有使用性别判断任务, 任务的差异导致 N3 趋势的不同。另外, 这些研究都控制了面孔的唤醒度, 而本研究并没控制唤醒度, 面孔属性的控制程度不统一可能导致 N3 的趋势不同。但是 Wiese 等(2014)和 Schacht 等(2008)使用性别判断任务却没发现 N3 的差异, 仍有可能是实验材料控制的差异导致的。研究表明, N3 与刺激分类加工(张妍等, 2010; Zhang et al., 2011)和冲突检测(Zhang et al., 2011; Zhang & Deng, 2012)有关。本研究发现 N3 的差异, 表明本研究选取的实验材料有效, 被试能对不同吸引力的面孔进行分类加工。另外, 低吸引力女性面孔诱发更大的 N3, 可能是低吸引力面孔不符合人们期待, 引发被试内心的冲突, 因此 N3 的波幅更大。本研究还发现, 在顶区, 低吸引力男性面孔比高吸引力男性面孔诱发更大的 N3, 然而在其他四个脑区, 高吸引力男性比低吸引力男性诱发更大的 N3。该结果与前人研究(张妍等, 2010; Zhang et al., 2011; Zhang & Deng, 2012)发现的高吸引力面孔在额区和中央区诱发更大的 N3 的结果不一致。可能是张妍等(2010)以及 Zhang 等(2011)的实验材料只包含女性面孔, Zhang 和 Deng (2012)的实验材料虽然既有男性又有女性面孔, 但是他们并没有把面孔性别作为一个重要的因素来分析, 导致结果之间存在差异。另外, Aharon 等(2001)发现, 高吸引力比低吸引力女性面孔在双侧伏隔核的激活程度更大, 而高吸引力比低吸引力男性面孔在双侧伏隔核的激活程度更小。该研究支持了本研究发现的男性和女性面孔吸引力趋势不一致的结果。

有意识条件下高吸引力女性面孔比低吸引力女性面孔诱发更大的 LPC, 这一结果与前人研究(张妍等, 2010; Ma et al., 2015; Ma, Zhang, Pei, & Abdeljelil, 2017; Pei & Meng, 2018; Zhang et al., 2011)发现的高吸引力面孔诱发更大的 LPC 的结果一致。Pei 和 Meng (2018)认为高吸引力面孔更吸引注意, 因此诱发更大的 LPC。LPC 也可能反映了不同的认知功能(Zhang et al., 2011)。然而本研究的结果与一些研究(Chen et al., 2012; Cui et al., 2019; Muñoz & Martín-Loeches, 2015; Schacht et al., 2008)不一致。例如, Schacht 等(2008)发现, 高、低吸引力面孔比中等吸引力面孔诱发更大的 LPC。他们的面孔表情评分与吸引力评分相关, 因此, 可能是面孔表情的加工诱发了 LPC 的差异, 不能说明 LPC 是单纯的面孔吸引力加工。Chen 等(2012)发现低吸引力面孔比高吸引力面孔诱发更大的 LPC, LPC 的趋势与本研究相反, 可能是本研究(性别判断任务)与他们的研究(决策任务)使用不同的实验任务导致的。另外, Muñoz 和 Martín-Loeches (2015)发现, 高、低吸引力图片比中等吸引力图片诱发更大的 LPC。他们的实验材料既有面孔图片又有身体图片, 并没单独对面孔吸引力进行分析, 可能导致 LPC 的趋势不一致。Cui 等(2019)发现低吸引力面孔诱发更大的 LPC, 他们让被试做心灵美评价任务, 本研究让被试做性别判断任务, 任务的差异也许导致结果趋势的不同。fMRI 研究发现, 与奖赏有关的脑区的激活程度随面孔吸引力水平的增加而不断变强, 包括前扣带回(Cloutier et al., 2008; Tsukiura & Cabeza, 2011a)、内侧前额叶皮层(Cloutier et al., 2008)、伏隔核(Cloutier et al., 2008)、眶额皮层(O'Doherty et al., 2003; Shen et al., 2016; Tsukiura & Cabeza, 2011a; Tsukiura & Cabeza, 2011b; Wang et al., 2015)、壳核(Wang et al., 2015)和尾状核(Shen et al., 2016), 为本研究提供了支持。高吸引力女性面孔能引起被试的积极情绪, 激活奖赏系统, 诱发更大的 LPC。另外, LPC 的差异只体现在女性面孔上, 可能是高吸引力女性面孔代表着拥有良好的基因以及成功繁殖后代的可能性

(Zhang et al., 2011), 因此高吸引力女性面孔诱发更大的 LPC。

4.2. 对无意识条件结果的讨论

无意识条件下, 在 N170、P2 和 N3 成分上均没发现面孔吸引力的效应。表明当被试意识不到面孔存在时, 无法加工面孔吸引力。Tsikandilakis 等(2018)使用后掩蔽范式发现, 被试在对面孔能正确探测的情况下, 对高吸引力面孔的评分要高于较低吸引力面孔。但是, 对面孔不能正确探测的情况下, 吸引力评分没有显著差异, 表明吸引力的评价需要意识。本研究用 CFS 范式证明了面孔吸引力的加工需要意识的参与, 用神经科学技术手段为 Tsikandilakis 等人的结论提供了支持。但是, 本研究与一些研究(Hung et al., 2016; Nakamura & Kawabata, 2018; Olson & Marshuetz, 2005)发现的结果不同, 即他们认为人们在意识不到面孔存在的情况下依旧能加工面孔吸引力。原因可能是, Hung 等(2016)以及 Nakamura 和 Kawabata (2018)使用 b-CFS 范式, 令面孔的对比度从低到高不断增加, 让被试一旦看到面孔的任何一部分就按键反应, 反映了对目标面孔从无意识加工到有意识探测的过程, 不是纯粹的无意识加工。而本研究使用 CFS 范式, 面孔对比度保持不变, 整个过程中面孔对被试一直不可见, 让被试观察噪音图对比度变化, 任务的差异可能导致结果的不同。Olson 和 Marshuetz (2015)的结论和本研究不一致, 可能是他们使用前掩蔽范式, 而本研究使用 CFS 范式, 范式的差异可能导致结果不同。另外, Olson 和 Marshuetz 令面孔刺激呈现 13 ms, 呈现时间过长也无法保证刺激处于无意识水平, 可能混淆实验结果。

为检验被试在看不见面孔的情况下能否对面孔进行一定程度加工, 本研究进一步对完整面孔和打散面孔进行了分析。结果发现, 在额区和额中区, 打散面孔比完整面孔诱发更大的 P2。然而在中央区、中央顶区和顶区, 完整面孔比打散面孔诱发更大的 P2。虽然在不同脑区 P2 的趋势并不一致, 但能表明人们在无意识条件下能自动加工面孔刺激。换言之, 人们在看不到面孔的情况下仍能区分出刺激是否是面孔, 但是不能区分面孔吸引力。P2 反映了对面孔结构和特征的早期知觉加工(张妍等, 2010; Marzi & Viggiano, 2010; Muñoz & Martín-Loeches, 2015)。另外, 本研究还发现, 无论在哪一脑区, 完整面孔都比打散面孔诱发更大的 N3。N3 与刺激分类加工有关(张妍等, 2010; Zhang et al., 2011), N3 的差异说明被试能对面孔刺激进行分类加工。

4.3. 有意识和无意识条件结果的对比

本研究表明, 面孔吸引力在有、无意识条件下加工诱发的神经活动存在差异。面孔吸引力在有意识条件下诱发了 N170、P2、N3 和 LPC 的差异, 而在无意识条件下, 在 N170、P2 和 N3 成分上均没有发现面孔吸引力的效应。说明被试只有在意识到面孔存在时才能自动加工面孔吸引力, 而在不能意识到面孔存在的情况下, 无法对面孔吸引力进行加工。表明面孔吸引力的加工需要意识的参与。

5. 结论

- 1) 有意识条件(性别判断任务)下, 面孔吸引力诱发了 N170、P2、N3 和 LPC 的差异, 表明人们能自动提取面孔吸引力信息。
- 2) 无意识条件会阻碍个体加工面孔吸引力信息, 面孔吸引力的加工需要意识的参与。

基金项目

本研究得到辽宁省社会科学规划基金项目(L19BSH005)资助。

参考文献

陈红, 朱岚(2012). 相貌负面图式女性对面孔的加工偏向: 来自 ERP 的证据. *西南大学学报(社会科学版)*, 38(4),

74-82.

- 丁小斌, 康铁君, 赵鑫, 付军军(2018). 躯体表情与面部表情加工进程比较. *心理科学进展*, 26(3), 423-432.
- 寇慧, 苏艳华, 张妍, 孔繁昌, 胡媛艳, 王洋, 陈红(2013). 面孔吸引力的影响因素: 观察者假设. *心理科学进展*, 21(12), 2144-2153.
- 李鸥, 陈红(2010). 面孔吸引力的回顾与前瞻. *心理科学进展*, 18(3), 472-479.
- 刘金平, 李藏(2018). 竞争任务下面孔吸引力对结果评价的影响. *心理科学*, 41(1), 145-153.
- 汝涛涛, 范若琳, 陈庆伟, 李静华, 莫雷, 周国富(2017). 女性面孔吸引力的加工及其对男性诚实道德行为的影响: 一项 ERP 研究. *心理科学*, 40(6), 1428-1432.
- 尚俊辰, 陈文锋, 季璟妍(2018). 面孔吸引力在认知过程中的作用及其神经机制. *心理科学进展*, 26(2), 241-253.
- 侠牧, 李雪榴, 叶春, 李红(2014). 面部表情加工的 ERP 成分. *心理科学进展*, 22(10), 1556-1563.
- 张妍, 孔繁昌, 陈红, 向燕辉, 高笑, 陈敏燕(2010). 男性对女性面孔吸引力的认知偏好: 来自 ERP 的证据. *心理学报*, 42(11), 1060-1072.
- 张妍, 孔繁昌, 郭英, 任俊, 陈红(2012). 内隐还是外显记忆: 对女性面孔吸引力记忆偏好的 ERP 研究. *北京大学学报(自然科学版)*, 48(1), 160-168.
- Aharon, I., Etcoff, N., Ariely, D., Chabris, C. F., O'Connor, E., & Breiter, H. C. (2001). Beautiful Faces Have Variable Reward Value: fMRI and Behavioral Evidence. *Neuron*, 32, 537-551. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(01\)00491-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(01)00491-3)
- Anderson, E., Siegel, E., White, D., & Barrett, L. F. (2012). Out of Sight But Not out of Mind: Unseen Affective Faces Influence Evaluations and Social Impressions. *Emotion*, 12, 1210-1221. <https://doi.org/10.1037/a0027514>
- Chen, J., Zhong, J., Zhang, Y., Li, P., Zhang, A., Tan, Q., & Li, H. (2012). Electrophysiological Correlates of Processing Facial Attractiveness and Its Influence on Cooperative Behavior. *Neuroscience Letters*, 517, 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.02.082>
- Cloutier, J., Heatherton, T. F., Whalen, P. J., & Kelley, W. M. (2008). Are Attractive People Rewarding? Sex Differences in the Neural Substrates of Facial Attractiveness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 941-951. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20062>
- Cui, X., Cheng, Q., Lin, W., Lin, J., & Mo, L. (2019). Different Influences of Facial Attractiveness on Judgments of Moral Beauty and Moral Goodness. *Scientific Reports*, 9, Article No. 12152. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53743-9>
- Gao, W., Cao, B., Shan, S., Chen, X., Zhou, D., Zhang, X., & Zhao, D. (2008). The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Baseline Evaluations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 38, 149-161. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2007.909557>
- Huffmeijer, R., Eilander, J., Mileva-Seitz, V. R., & Rippe, R. C. A. (2018). Changes in Face-Specific Neural Processing Explain Reduced Cuteness and Approachability of Infants with Cleft Lip. *Social Neuroscience*, 13, 439-450. <https://doi.org/10.1080/17470919.2017.1340336>
- Hung, S.-M., Nieh, C.-H., & Hsieh, P.-J. (2016). Unconscious Processing of Facial Attractiveness: Invisible Attractive Faces Orient Visual Attention. *Scientific Reports*, 6, Article No. 37117. <https://doi.org/10.1038/srep37117>
- Jiang, Y., Shannon, R. W., Vizueta, N., Bernat, E. M., Patrick, C. J., & He, S. (2009). Dynamics of Processing Invisible Faces in the Brain: Automatic Neural Encoding of Facial Expression Information. *NeuroImage*, 44, 1171-1177. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.09.038>
- Jiang, Y., Wu, X., Saab, R., Xiao, Y., & Gao, X. (2018). Time Course of Influence on the Allocation of Attentional Resources Caused by Unconscious Fearful Faces. *Neuropsychologia*, 113, 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.001>
- Jin, J., Fan, B., Dai, S., & Ma, Q. (2017). Beauty Premium: Event-Related Potentials Evidence of How Physical Attractiveness Matters in Online Peer-to-Peer Lending. *Neuroscience Letters*, 640, 130-135. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.037>
- Liang, X., Zebrowitz, L. A., & Zhang, Y. (2010). Neural Activation in the "Reward Circuit" Shows a Nonlinear Response to Facial Attractiveness. *Social Neuroscience*, 5, 320-334. <https://doi.org/10.1080/17470911003619916>
- Lu, Y., Wang, J., Wang, L., Wang, J., & Qin, J. (2014). Neural Responses to Cartoon Facial Attractiveness: An Event Related Potential Study. *Neuroscience Bulletin*, 30, 441-450. <https://doi.org/10.1007/s12264-013-1401-4>
- Ma, Q., Hu, Y., Jiang, S., & Meng, L. (2015). The Undermining Effect of Facial Attractiveness on Brain Responses to Fairness in the Ultimatum Game: An ERP Study. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 77. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00077>
- Ma, Q., Qian, D., Hu, F., & Wang, L. (2017). Hello Handsome! Male's Facial Attractiveness Gives Rise to Female's Fairness Bias in Ultimatum Game Scenarios: An ERP Study. *PLoS ONE*, 12, e0180459. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180459>

- Ma, Q., Zhang, L., Pei, G., & Abdeljelil, H. (2017). Neural Process of the Preference Cross-Category Transfer Effect: Evidence from an Event-Related Potential Study. *Scientific Reports*, 7, Article No. 3177. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02795-w>
- Marzi, T., & Viggiano, M. P. (2010). When Memory Meets Beauty: Insights from Event-Related Potentials. *Biological Psychology*, 84, 192-205. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.013>
- Muñoz, F., & Martín-Loeches, M. (2015). Electrophysiological Brain Dynamics during the Esthetic Judgment of Human Bodies and Faces. *Brain Research*, 1594, 154-164. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.10.061>
- Nakamura, K., & Kawabata, H. (2018). Preferential Access to Awareness of Attractive Faces in a Breaking Continuous Flash Suppression Paradigm. *Consciousness and Cognition*, 65, 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.07.010>
- O'Doherty, J., Winston, J., Critchley, H., Perrett, D., Burt, D. M., & Dolan, R. J. (2003). Beauty in a Smile, the Role of Medial Orbitofrontal Cortex in Facial Attractiveness. *Neuropsychologia*, 41, 147-155. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00145-8](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00145-8)
- Oliver-Rodriguez, J. C., Guan, Z., & Johnston, V. S. (1999). Gender Differences in Late Positive Components Evoked by Human Faces. *Psychophysiology*, 36, 176-185. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3620176>
- Olson, I. R., & Marshuetz, C. (2005). Facial Attractiveness Is Appraised in a Glance. *Emotion*, 5, 498-502. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.4.498>
- Pei, G., & Meng, L. (2018). What Do We Expect from a Beauty? Facial Attractiveness of the Opposite Sex Gives Rise to Discrepancies in Males' Anticipation and Demand. *International Journal of Psychology*, 53, 411-416. <https://doi.org/10.1002/ijop.12393>
- Schacht, A., Werheid, K., & Sommer, W. (2008). The Appraisal of Facial Beauty Is Rapid But Not Mandatory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 8, 132-142. <https://doi.org/10.3758/CABN.8.2.132>
- Shen, H., Chau, D., Su, J., Zeng, L., Jiang, W., He, J., Hu, D. et al. (2016). Brain Responses to Facial Attractiveness Induced by Facial Proportions: Evidence from an fMRI Study. *Scientific Reports*, 6, Article No. 35905. <https://doi.org/10.1038/srep35905>
- Tsikandilakis, M., Bali, P., & Chapman, P. (2018). Beauty Is in the Eye of the Beholder: The Appraisal of Facial Attractiveness and Its Relation to Conscious Awareness. *Perception*, 48, 72-92. <https://doi.org/10.1177/0301006618813035>
- Tsukiura, T., & Cabeza, R. (2011a). Remembering Beauty: Roles of Orbitofrontal and Hippocampal Regions in Successful Memory Encoding of Attractive Faces. *Neuroimage*, 54, 653-660. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.07.046>
- Tsukiura, T., & Cabeza, R. (2011b). Shared Brain Activity for Aesthetic and Moral Judgments: Implications for the Beauty-Is-Good Stereotype. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6, 138-148. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq025>
- van Hooff, J. C., Crawford, H., & van Vugt, M. (2011). The Wandering Mind of Men: ERP Evidence for Gender Differences in Attention Bias towards Attractive Opposite Sex Faces. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 6, 477-485. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq066>
- Wang, H., Tong, S., Shang, J., & Chen, W. (2019). The Role of Gender in the Preconscious Processing of Facial Trustworthiness and Dominance. *Frontiers in Psychology*, 10, 2565. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02565>
- Wang, T., Mo, L., Mo, C., Tan, L., Cant, J. S., Zhong, L., & Cupchik, G. (2015). Is Moral Beauty Different from Facial Beauty? Evidence from an fMRI Study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10, 814-823. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu123>
- Wang, X., & Tang, X. (2009). Face Photo-Sketch Synthesis and Recognition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 31, 1955-1967. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2008.222>
- Wiese, H., Altmann, C. S., & Schweinberger, S. R. (2014). Effects of Attractiveness on Face Memory Separated from Distinctiveness: Evidence from Event-Related Brain Potentials. *Neuropsychologia*, 56, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.023>
- Winston, J., O'Doherty, J., Kilner, J., Perrett, D., & Dolan, R. (2007). Brain Systems for Assessing Facial Attractiveness. *Neuropsychologia*, 45, 195-206. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.009>
- Zhang, Y., Kong, F., Chen, H., Jackson, T., Han, L., Meng, J., ul Hasan, A. N. et al. (2011). Identifying Cognitive Preferences for Attractive Female Faces: An Event-Related Potential Experiment Using a Study-Test Paradigm. *Journal of Neuroscience Research*, 89, 1887-1893. <https://doi.org/10.1002/jnr.22724>
- Zhang, Y., Wei, B., Zhao, P., Zheng, M., & Zhang, L. (2016). Gender Differences in Memory Processing of Female Facial Attractiveness: Evidence from Event-Related Potentials. *Neurocase*, 22, 317-323. <https://doi.org/10.1080/13554794.2016.1151532>
- Zhang, Z., & Deng, Z. (2012). Gender, Facial Attractiveness, and Early and Late Event-Related Potential Components. *Journal of Integrative Neuroscience*, 11, 477-487. <https://doi.org/10.1142/S0219635212500306>