

面孔生命性加工的时间进程：ERP 研究*

金花^{1,2,3} 严世振² 单金磊⁴ 刘婷⁵

(1 教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300387) (2 天津师范大学心理学部, 天津 300387) (3 学生心理发展与学习天津市高校社会科学实验室, 天津 300387) (4 天津工业大学电子与信息工程学院, 天津 300387) (5 天津职业技术师范大学职业教育学院, 天津 300222)

摘要 本研究采用事件相关电位技术, 通过参数设计考察了大脑加工面孔生命性时的神经电活动动态进程。结果显示: 非生命性面孔比生命性面孔在中央顶区诱发了更大的 LPP 波幅; 生命性和非生命性面孔诱发的 LPP 波幅均显著大于中间等级 (60%) 面孔, 提示随生命性信息增强, LPP 波幅呈“U”型变化。P1 和 N170 未表现出面孔类别差异。结果表明 LPP 是探测面孔生命性加工的有效成分, 支持面孔生命性加工位于面孔加工的晚期阶段的观点。

关键词 面孔加工, 生命性知觉, 事件相关电位。

分类号 B842

1 引言

面孔生命性指通过特定面孔特征表达、提示面孔为真实且具有内在生命力的信息, 是判断面孔为真人或人工面孔的重要线索 (Farid & Bravo, 2012)。面孔生命性知觉被认为是视知觉的一个基本功能, 表现为个体能快速、自动化地对面孔是否具有生命做出知觉判断 (Looser & Wheatley, 2010)。日常生活中对面孔生命性的有效识别有益于个体更好的社会生存 (Balas & Auen, 2019; Balas & Tonsager, 2014; Koldewyn et al., 2014; Looser & Wheatley, 2010)。

采用事件相关电位 (event-related potential, ERP) 探究面孔生命性信息加工的时间进程是面孔生命性知觉研究的焦点之一。ERP 成分中的 P1、N170 和晚期正成分 (later positive potential, LPP) 被认为与面孔加工有关。P1 指刺激呈现后约 100 ms 时出现的正成分, 反映对面孔物理特征的早期自动加工 (Fimreite et al., 2015)。N170 是刺激呈现后 160~170 ms 时达到峰值的一种负成分, 与面孔的结构编码有关 (Balas et al., 2017)。LPP 是刺激出现后的 300~700 ms 间出现在中央顶区的正波, 反映面孔情绪的高级认知加工、持续性注意 (Hajcak et al., 2010)。根据生命性和非生命性面孔在脑电成分上的差异, 研究者提出了关于面孔

生命性信息加工时间进程的不同观点。如 Balas 和 Koldewyn (2013) 发现生命性和非生命性面孔诱发的脑电差异主要体现在早成分 P1 上, 认为生命性加工可能位于面孔加工的早期阶段。也有研究发现生命性和非生命性面孔诱发的脑电差异体现在 N170 和 LPP 成分上, 提示生命性信息的加工可能从面孔加工中期延续到晚期。如 Schindler 等 (2017) 发现面孔的真实度和 N170 波幅呈倒 U 型关系, 与 LPP 波幅正相关。郑晨烨等 (2015) 发现真人面孔比卡通面孔诱发更大的 N170 波幅和更小的 LPP。Zhao 等 (2019) 发现真人面孔比卡通面孔诱发更小的 N170 波幅和更大的 LPP。

而 Wheatley 等 (2011) 发现生命性面孔和非生命性面孔诱发的脑电差异仅体现在 LPP 上。他们采用非面孔刺激时钟和经评估得到的高外在相似性的真人和玩偶面孔材料, 发现真人和玩偶面孔比时钟刺激诱发更负的 N170 波幅; 两类面孔诱发的 N170 成分无差异, 但真人比玩偶面孔诱发了更大的 LPP。该研究认为生命性加工发生在面孔加工的晚期阶段, 并提出了生命性面孔加工的两阶段理论, 即生命性面孔加工存在整体结构编码和生命性信息加工两个阶段。在编码阶段, 视觉系统首先编码刺激的整体结构信息, 并诱发 N170 成分。当刺激被识别为面孔结构或类面孔结构后, 作为具有生物意义线索, 面孔获得进一步的生命

收稿日期: 2021-09-11

* 基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (20ZDA079)。

通讯作者: 金花, E-mail: jinhua@mail.tjnu.edu.cn。

性信息加工。在此阶段,个体自动化且无意识地加工面孔的生命性信息、进行知觉判断并诱发LPP成分。Balas等(2017)发现真人和人工面孔在P1和N170成分上不存在面孔生命性主效应,并在讨论中提出生命性加工可能发生在面孔加工的晚期阶段。

结果的分歧可能源于不同研究间任务、电极点选择和材料选择差异。在任务上,部分研究采用分类任务(Balas & Koldewyn, 2013; Zhao et al., 2019),部分采用被动呈现(Schindler et al., 2017; Wheatley et al., 2011)。不同的认知任务可能会导致加工类型、加工深度和加工难度差异(Pendleton et al., 2016; Terrett et al., 2019)。电极点选择上,Wheatley等选取了中央区和前额区(Cz、AFz)的电极,而更多的研究选择了中央顶区和顶枕区的电极点(Schindler et al., 2017; Zhao et al., 2019)。不同的ERP成分有着不同的头皮分布,电极点的选择差异会对结果产生影响。材料选择上,控制了不同生命性面孔的外表相似度的研究未能发现N170的类别效应(Balas et al., 2017; Wheatley et al., 2011),而显示出N170差异的研究均未控制外表相似性(Schindler et al., 2017; Zhao et al., 2019),提示面孔外在相似性差异可能是诱发N170差异的根源。此外,以往研究通过比较两类面孔诱发的ERP成分来考察面孔生命性知觉的神经机制,难以揭示面孔生命性信息和ERP特定成分间的因果关系。因此,本研究拟应用参数设计方法,从因果层面探索面孔生命性加工的相关ERP成分,以更好地揭示面孔生命性信息加工的时间过程。

本研究基于高相似度的真人和人工面孔的多个面部基准点,生成一系列身份信息强度从真人面孔递减到人工面孔的面孔组,通过心理物理法评估获得生命性等距面孔,使得各等级面孔具有高相似度和生命性强度等距的特点。在此基础上,利用ERP技术评估面孔生命性和ERP成分间的共变关系,揭示有效反映面孔生命性知觉的脑电成分及各等级面孔诱发的神经电信号模式。基于以往研究发现P1和N170更多反映低级面孔物理特征和面孔的早期结构编码,本研究认为相关研究诱发的P1和N170更可能由不同生命性面孔间的低水平差异和结构差异等无关变量诱发。基于功能磁共振研究发现真实和人工面孔在腹侧视觉通路的激活上具有差异(Shultz et al., 2015),而腹侧视觉通路被视为大脑皮层加工晚期阶段的脑

激活区(Looser et al., 2013),推测面孔生命性加工更可能位于面孔加工的晚期阶段。据此,本研究提出假设:面孔生命性加工更可能位于面孔加工的晚期阶段,体现在LPP成分上。此外,根据面孔生命性知觉阈限的行为学研究发现处于阈限(50%生命性等级)周围的面孔图片的加工可能不同于处于连续体两端的面孔(Hackel et al., 2014),预测面孔生命性强度和其诱发的神经电信号模式间的关系可能为非线性关系。

2 研究方法

2.1 被试

39名大学生(20.51±2.25岁,14名男性)参与了实验。被试均为右利手,无色盲或色弱、脸盲、精神疾病史、脑外伤和身心健康问题;24小时内无饮用刺激性或兴奋性饮料和药物等情况,未参与前期材料评估。实验前所有被试签署知情同意书。

2.2 实验设计

被试内设计。主自变量为生命性等级(0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%),次自变量为大脑半球。因变量为反应时和面孔类别判断概率以及P1、N170的潜伏期和峰振幅,P3、LPP的平均波幅。

2.3 实验材料

为增强与前人研究结果的可比较性,21组中性面孔图片(10组男性)选自Looser和Wheatley(2010)以及Bowling和Banissy(2017)的研究。每组包含生命性和非生命性面孔各一张,前者为高加索真人面孔,后者为与前者外观相似的非真人面孔图片。通过Photoshop CC(Adobe Systems Inc.)控制同组内的两张面孔的亮度和高度,其中垂直高度为180像素。面孔的水平宽度在200~245像素之间,同组内不同生命性面孔的水平宽度保持一致。面孔区域占整张图片80%以上。所有图片都以相同的亮度和对比度呈现在黑色背景上。

实验前,另选取37名大学生(21.13±1.83岁,15名男性)对同组面孔的外表相似度、情绪效价和唤醒度进行7点评定。对外表相似度3分以上的19组中性面孔(10组男性)进行配对样本 t 检验,发现两组面孔在效价和唤醒度($p>0.05$)上无显著差异。本研究还额外招募了30名(21.20±1.61岁,15名男性)和43名新被试(20.88±1.79岁,

22名男性)分别完成面孔生命性识别任务和面孔吸引力评定(7点计分),配对样本 t 检验结果显示两组面孔的识别正确率和面孔吸引力均不存在显著差异($p>0.05$)。

运用Morph Man 4.0(STOIK Imaging Inc.)在每组的生命性和非生命性面孔之间生成101张身份信息强度从100%递减到0%的面孔连续体,递减间隔为1%。19名新被试(20.37 ± 1.42 岁,9名男性)在每组面孔连续体中选出9张分别表示生命性等级为10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%的图片。其中生命性的定义是“你认为该照片有多大的概率被认为是真人”。

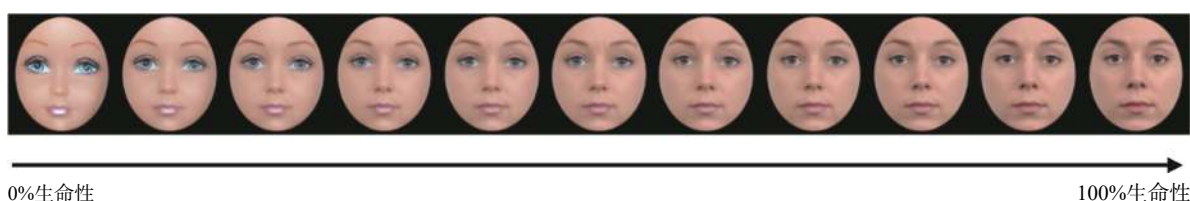


图1 各生命性等级面孔示意图

2.4 实验程序

刺激通过E-Prime 2.0(Psychology Software Tools Inc.)呈现。被试距离屏幕60 cm,垂直视角为 6.4° ,水平视角在 $8.8^\circ \sim 10.7^\circ$ 间,屏幕刷新率为60 Hz,分辨率为 1024×768 像素。实验采用生命性分类任务。每个试次开始时,屏幕上首先呈现注视点500 ms,随后呈现面孔图片500 ms,图片消失之后呈现黑色空屏,要求被试通过游戏手柄的左键或右键判断呈现的面孔是真人面孔还是人

根据以往研究(Balas & Auen, 2019; Bowling & Banissy, 2017),将所得到的结果以面孔的身份强度等级为 x 轴,生命性等级为 y 轴,进行三次多项式模型数据拟合。拟合结果如公式1所示(和方差 $SSE=0.005$,确定系数 $R^2=0.992$,均方根 $RMSE=0.027$)。

$$y = 1.172x^3 - 2.233x^2 + 2.044x + 0.325 \quad (1)$$

根据拟合方程计算各生命性等级所对应的物理等级,选定对应面孔作为实验材料,分别代表各生命性等级的面孔(见图1)。因此,本研究正式实验共纳入19组面孔,合计生成209张面孔图片。

工面孔。按键反应后,空屏仍持续呈现,呈现时间在500~800 ms之间随机(见图2)。实验共627个试次,每个条件57个试次(每张图片重复呈现3次)。程序以单个组块呈现,每209个试次被试休息一次。所有图片随机呈现,按键顺序在被试间平衡。实验前被试先休息5分钟以稳定实验情绪。正式实验前两类面孔各练习4个试次。为验证面孔材料控制的有效性,实验后要求被试对材料的情绪效价和唤醒度进行7点评定。

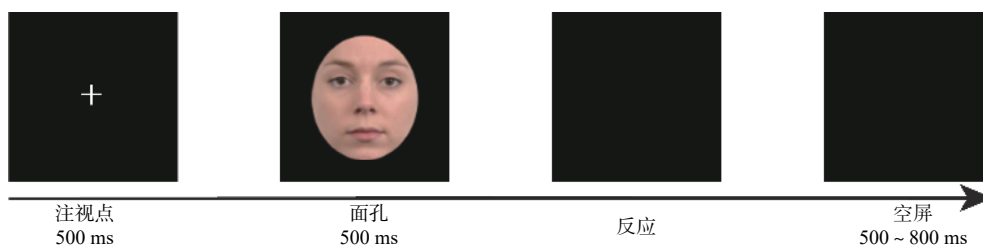


图2 实验流程图

2.5 数据采集与分析

根据国际10-20系统扩展的64导Ag/AgCl电极帽、Neuroscan ERP工作站记录ERP信号,电极阻抗小于 $5 K\Omega$ 。在线记录时数据滤波带通为 $0.05 \sim 400 \mu V$,采样率1000 Hz。在左眼上下1 cm处安置电极记录垂直眼电(VEOG),在左右眼眼外侧1.5 cm处安置左右电极记录水平眼电(HEOG),

在线纪录时以左侧乳突连线为参考电极,离线后转为双侧乳突为参考电极。数据采用Curry 8系统进行离线分析:人工视觉扫描异常数据、眼动校正、滤波(滤波带通 $0.01 \sim 30$ Hz,零相位延迟)、分段($-200 \sim 1000$ ms)、基线校正($-200 \sim 0$ ms)、叠加平均。

根据已有相关文献(Balas & Koldewyn, 2013;

Wheatley et al., 2011)、脑电地形图以及 ERP 波形图选取电极点、ERP 成分的时间窗。选取 PO7、P7、PO8、P8 电极点在 90~140 ms 时间窗内的数据分析 P1、160~200 ms 时间窗内的数据分析 N170; 选取 C1、C2、Cz、CP1、CP2、CPz、P1、P2、Pz 电极点在 280~330 ms 时间窗内的数据分析 P3、500~550 ms 时间窗内的数据分析 LPP。因早、中期 ERP 成分具有较尖锐的峰值, 故对 P1 和 N170 采用基线-峰值进行度量; 而 P3 和晚期呈弥漫性且波形较钝的 LPP 采用平均波幅进行度量。

2.6 数据统计

统计分析采用 SPSS Statistics 21.0 (IBM Inc.), 方差分析中对不符合球形假设的主效应和交互作用的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法进行校正。通过 Matlab R2015a (MathWorks Inc.) 绘制出 ERP 的脑地形图。

3 结果

14 名被试因报告疲劳或数据中伪迹过多 (单条件有效试次数低于 35) 等被剔除, 最后剩余有效被试 25 人 (9 名男性)。

3.1 行为结果

反应时: 各生命性等级面孔的反应时如图 3 所示。单因素重复测量方差分析发现, 面孔类别主效应显著 [$F(10, 240)=7.48, p<0.001, \eta_p^2=0.25$]。事后多重比较发现, 非生命性面孔的平均反应时显著小于 30%、40%、50%、60% 等级面孔 ($ps<0.05$); 10% 等级面孔的反应时显著小于 30% 和 40% 等级面孔 ($ps<0.05$); 60% 等级面孔的反应时显著大于 90% 等级面孔和生命性面孔 ($ps<0.05$)。40% 等级面孔和 90% 等级面孔 ($p=0.051$)、50% 等级面孔和生命性面孔 ($p=0.051$) 之间的差异边缘显著; 其他条件间的差异均不显著 ($ps>0.05$)。

类别判断概率: 各生命性等级面孔类别判断

概率 (判断为真实面孔) 见图 3。采用相关分析探索实验中被试各等级下的类别判断概率和面孔等级之间的相关, 结果显示类别判断概率和生命性等级之间呈高度正相关 ($r=0.89, p<0.001$), 表明被试能有效识别面孔的生命性。

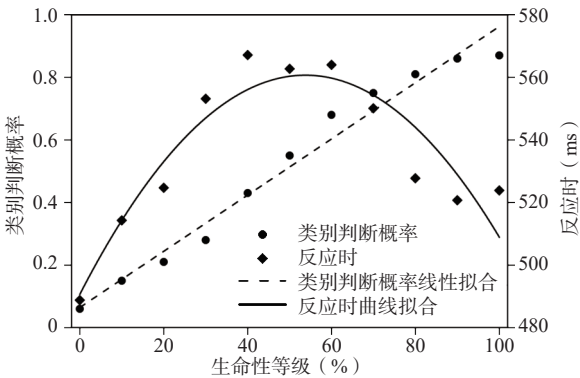


图 3 面孔反应时和类别判断概率图

实验后情绪评定: 配对样本 t 检验结果显示, 非生命性面孔情绪效价评分 (4.36 ± 0.86) 显著小于生命性面孔 [$4.77\pm0.77, t(24)=-2.47, p=0.021$, Cohen's $d=-0.50$]。非生命性面孔情绪唤醒度 (4.67 ± 0.31) 与生命性面孔不存在显著差异 ($4.54\pm1.08, p>0.05$)。

3.2 ERP 结果

研究首先分析非生命性和生命性面孔诱发的 ERP 成分差异, 以获得生命性加工相关成分。进一步分析相关成分随等级变化的电活动模式, 为目标成分反映面孔生命性加工提供更有力的证据。

3.2.1 生命性加工相关成分

实验在枕颞区发现明显的 P1 和 N170 成分, 在中央顶区发现明显的 P3 和 LPP 成分。表 1 和图 4 分别呈现不同面孔诱发的 ERP 波幅、潜伏期以及各成分的总平均波形图和差异脑地形图 (非生命性面孔-生命性面孔)。

表 1 面孔类别的 ERP 结果 ($M\pm SD$)

面孔类别	波幅 (μV)				潜伏期 (ms)	
	P1	N170	P3	LPP	P1	N170
非生命性面孔	0.95 \pm 4.30	-3.68 \pm 5.53	9.00 \pm 4.33	12.75 \pm 5.01	117.98 \pm 15.41	181.37 \pm 3.23
生命性面孔	0.55 \pm 4.31	-2.89 \pm 5.61	7.10 \pm 4.28	8.98 \pm 4.52	118.01 \pm 16.21	180.79 \pm 3.23

对 P1 的波幅和潜伏期分别进行 2 (面孔类别: 非生命性、生命性) \times 2 (半球: 左、右) 的重复测量方差分析。结果发现波幅和潜伏期所有效应均不显著 ($ps>0.05$)。

对 N170 的波幅和潜伏期的方差分析发现, 波幅的半球主效应显著 [$F(1, 24)=5.32, p=0.030, \eta_p^2=0.18$], 事后多重比较发现, 右半球的负激活 ($-4.18\pm6.68 \mu V$) 显著大于左半球 ($-2.38\pm5.18 \mu V$,

$p=0.030$)。其他效应均不显著 ($p>0.05$)。

对 P3 的波幅进行 2 (面孔类别：生命性、非生命性) \times 3 (半球：左、中线、右) 的重复测量方差分析发现，面孔类别主效应显著 [$F(1, 24)=13.26, p=0.001, \eta_p^2=0.36$]，事后多重比较发现，非生命性面孔的波幅 ($9.00\pm 4.33 \mu V$) 显著大于生命性

面孔 ($7.10\pm 4.28 \mu V, p=0.001$)。半球主效应显著 [$F(2, 48)=3.61, p=0.035, \eta_p^2=0.13$]，左半球 ($8.30\pm 4.06 \mu V$) 诱发的 P3 波幅显著大于右半球 ($7.86\pm 4.06 \mu V, p=0.036$)，与中线不存在显著差异 ($8.00\pm 4.30 \mu V, p=0.142$)。交互作用不显著 ($p>0.05$)。

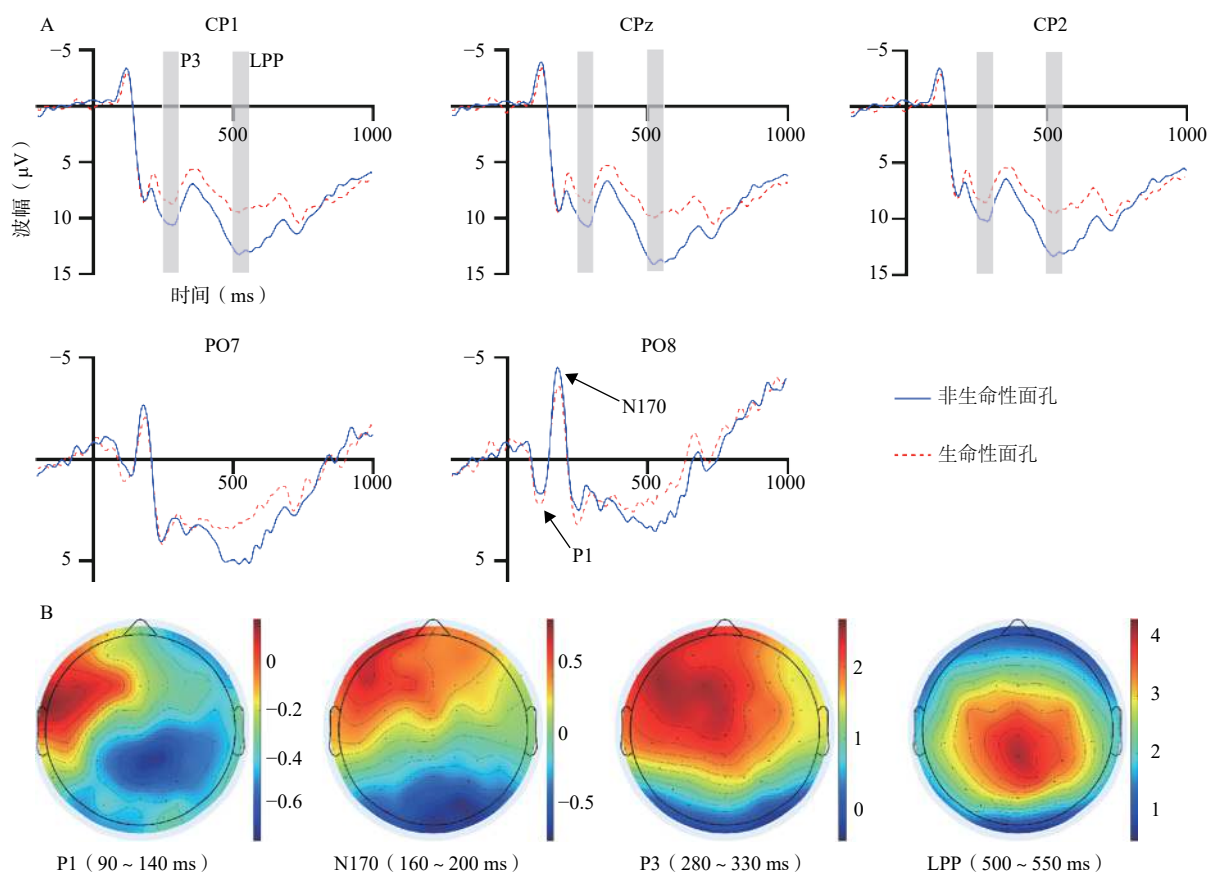


图4 不同类别面孔在 P1、N170、P3 和 LPP 上的总平均波形图 (A) 和差异脑地形图 (B)

对 LPP 的波幅进行上述 2 \times 3 方差分析发现，面孔类别主效应显著 [$F(1, 24)=28.08, p<0.001, \eta_p^2=0.54$]，非生命性面孔 ($12.75\pm 5.01 \mu V$) 的波幅显著大于生命性面孔 ($8.98\pm 4.52 \mu V, p<0.001$)；半球主效应显著 [$F(1, 24)=4.17, p=0.020, \eta_p^2=0.15$]，中线 ($11.17\pm 5.29 \mu V$) 的波幅显著大于左半球 ($10.70\pm 5.27 \mu V, p=0.043$) 和右半球 ($10.72\pm 5.08 \mu V, p=0.043$)。交互作用不显著 ($p>0.05$)。

3.2.2 面孔生命性等级加工

表 2 和图 5 描述了各等级面孔诱发 ERP 波幅及其电信号模式。

为揭示各等级面孔诱发 ERP 成分的神经电信号模式，对生命性等级和诱发的 P3 和 LPP 波幅进行数据拟合。根据散点图的分布，对 P3 成分采用

渐近回归模型进行拟合，得到拟合方程为： $y=7.19x+1.85\times 0.96^x$ ($SSE=0.416, R^2=0.864, RMSE=0.052$)。对 LPP 成分采用二次多项式模型进行拟合，得到拟合方程为： $y=0.0009x^2-0.11x+12.16$ ($SSE=1.910, R^2=0.842, RMSE=0.239$)。结果提示 P3 的波幅变化模式为随生命性等级的增大先降低，在约 30% ~ 50% 等级时保持稳定 (图 5A)。LPP 的电信号模式为随生命性增强呈“U”型分布，即随着生命性等级增大时，波幅先逐渐降低，至 60% 生命性等级时波幅达到最小；当生命性等级继续增加，波幅又随之增大 (图 5B)。行为和 ERP 波幅的相关分析显示，LPP 波幅与反应时呈显著负相关 ($r=-0.25, p<0.001$)；P3 波幅与反应时的相关不显著 ($p>0.05$)。

表 2 各生命性等级面孔诱发的 ERP 波幅

面孔类别	波幅 (μV)	
	P3	LPP
非生命性面孔	9.00 \pm 4.33	12.75 \pm 5.01
10%等级面孔	8.53 \pm 3.93	10.84 \pm 4.92
20%等级面孔	8.10 \pm 3.45	9.79 \pm 4.69
30%等级面孔	7.52 \pm 3.47	9.32 \pm 4.47
40%等级面孔	7.59 \pm 4.07	9.24 \pm 3.97
50%等级面孔	7.80 \pm 3.17	8.83 \pm 3.77
60%等级面孔	7.12 \pm 3.73	8.42 \pm 4.50
70%等级面孔	7.06 \pm 3.42	8.67 \pm 4.19
80%等级面孔	7.49 \pm 2.99	9.23 \pm 4.79
90%等级面孔	7.42 \pm 4.05	9.79 \pm 4.69
生命性面孔	7.10 \pm 4.28	8.98 \pm 4.52

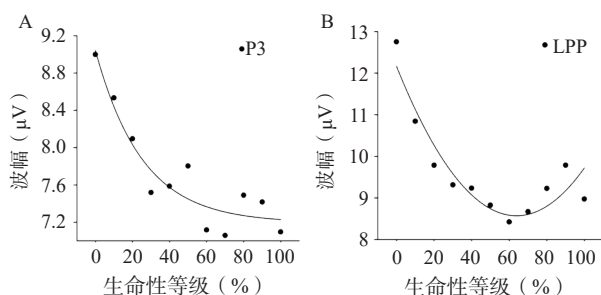


图 5 各生命性等级面孔诱发的 ERP 成分的信号模式

4 讨论

本研究采用 ERP 技术考察了面孔生命性加工时的神经电生理基础。结果发现, 非生命性面孔诱发的 P3 和 LPP 波幅显著大于生命性面孔, 而 P1 和 N170 成分没有显著的类别差异, 证实面孔生命性加工位于面孔加工的晚期阶段的观点。进一步通过参数设计探讨面孔生命性等级的神经电生理反应模式, 发现 LPP 波幅变化和面孔等级变化表现出一定的关联性, 即面孔生命性变化诱发 LPP 波幅的“U”型变化。LPP 波幅的变化与面孔反应时显著相关, 拓展了以往研究结果, 揭示了随生命性等级变化引起的大脑电生理反应模式。

4.1 面孔生命性加工和 LPP 的特异性变化

本研究发现非生命性和生命性面孔在 LPP 成分上的差异性, 表明 LPP 反映了面孔的生命性信息加工, 与以往研究结果保持一致 (Wheatley et al., 2011; Xiang et al., 2022)。Xiang 等通过面孔的适应范式结合 ERP 技术探讨了面孔生命性知觉的神经基础。结果发现对生命性面孔适应降低了随后呈现的生命性面孔诱发的 LPP 波幅, 并增大 LPP 的潜伏期, 支持了生命性信息的晚期加工观点。进

一步, 本研究发现生命性变化诱发 LPP 波幅的“U”型变化的结果, 这提示波幅可能反映了生命性信息的类别指向性程度, 而非生命性信息强度。反应时结果发现在知觉阈限附近反应时更大, 提示生命性面孔分类难度更大, 生命性信息的类别指向性越差, 推测面孔类别指向性越强, 诱发的 LPP 波幅越大。这种 LPP 反映面孔类别指向性的加工模式也存在于情绪、种族等二分面孔维度中 (Sun et al., 2017), 如 Sun 等以愉快到恐惧的面孔连续体为材料, 要求被试进行情绪分类, 结果发现情绪类别指向性强的面孔诱发的 LPP 波幅更大, 而情绪类别指向性模糊的面孔诱发的波幅更小。以往研究认为 LPP 可能反映持续性注意过程, 更大的波幅表明投入更多的注意资源 (Foti et al., 2009)。本研究发现指向性明确面孔诱发更强的 LPP 波幅, 表明相对于模糊面孔, 个体在指向明确面孔上投入更多的注意资源, 这种注意资源分配可能与实验任务有关。本研究采用的生命性判断任务需要个体在分类过程中对储存在长时记忆中的生命性面孔模板和非生命性面孔模板进行选择, 以最佳匹配来自外界的面孔并实现生命性分类。因此, 个体对类别指向性更明确的两端面孔投入更多的注意资源。

本研究发现非生命性面孔比生命性面孔诱发更大的 LPP 波幅, 与郑晨烨等 (2015) 的结果一致。郑晨烨等要求被试对屏幕上呈现的面孔图片进行吸引力评判, 结果也发现卡通面孔比真人面孔诱发更大的 LPP。但该结果与 Wheatley 等 (2011) 和 Schindler 等 (2017) 发现的生命性面孔波幅更大的结果并不一致, 这可能和任务差异有关。LPP 波幅受评估行为、任务差异等影响 (Hajcak & Foti, 2020)。观察到真人面孔诱发更大 LPP 的研究在实验中多要求被试被动观看呈现的刺激, 而观察到非真人面孔产生更大 LPP 的研究在实验中多要求被试对呈现的刺激进行特定的分类任务。Kaminska 等 (2020) 认为相对于被动观看, 分类过程需要激活典型面孔表征并与呈现的面孔刺激进行匹配。Sun 等 (2017) 的实证研究也发现分类与被动注视任务下相同材料诱发的 LPP 并不相同。不同情绪类别面孔在分类任务下诱发的 LPP 波幅存在显著差异, 但在被动注视任务下诱发的 LPP 波幅差异不显著。

LPP 在面孔间的差异也被认为和面孔吸引力差异有关 (Marzi & Viggiano, 2010)。但本实验所纳入生命性和非生命性面孔在吸引力上无显著差

异，排除了吸引力对实验结果的干扰。另外，情绪也可能影响面孔生命性知觉（Schirmer & Adolphs, 2017），且诱发 LPP 成分（Yu & Kitayama, 2019），这提示情绪也可能成为本实验结果的一个干扰因素。本实验虽然在材料评估时控制了面孔间的情绪差异，但正式实验的被试实验后评定发现，生命性面孔的效价比非生命性面孔更偏向正性，且各生命性类别面孔效价均偏向正性。虽然根据“恐怖谷”理论，80%~90% 等级面孔可能诱发被试的负性情绪（Yu & Kitayama, 2019），提示本研究诱发的 LPP 波幅差异不太可能由“恐怖谷”效应导致。但本实验难以基于文献排除 LPP 的情绪效应。如何更合理有效控制等级间的情绪效价，以及生命性加工与等级面孔的差异化的情绪加工之间的关系，未来应进一步探索。

4.2 面孔生命性加工和其他 ERP 成分的变化

实验没有发现 P1 和 N170 成分的面孔生命性效应，符合预期假设。前人研究表明视觉早期加工较少涉及深度认知加工，主要受刺激物理属性的影响（Liu et al., 2018）。本研究控制刺激物理属性后未在 P1 成分上观察到面孔类别的主效应，提示 P1 不是反映面孔生命性知觉的有效指标。N170 成分被视为脑对面孔结构编码的特异性成分（Balas et al., 2017）。生命性和非生命性面孔都具备基础的面孔结构，因此均诱发明显的 N170 成分，但 N170 的波幅和潜伏期均未显示出面孔类别差异，表明 N170 对面孔生命性加工的不敏感。基于先前研究认为 N170 的振幅和潜伏期不受随后的面孔加工影响（Joyce & Rossion, 2005），生命性面孔和非生命性面孔在 N170 上没有差异，也从另一角度支持了面孔生命性信息的加工处于面孔加工的晚期阶段的观点。此外，本研究还发现非生命性和生命性面孔诱发的 P3 成分的波幅存在显著差异。P3 被认为与决策或结果评价中的注意资源分配有关，波幅越大意味着所投入的认知资源越多（Barry et al., 2020）。非生命性面孔诱发的 P3 成分大于生命性面孔，表明个体对非生命性面孔具有更大的注意资源分配。这可能由于相对于生命性面孔，非生命性面孔作为日常生活中的非典型面孔，在持续呈现的面孔图片组中被视为新异刺激，使得个体对非生命性面孔投注了更大的注意资源。如 Schwab 等（2021）研究发现以薯条、汉堡等食物摆成的奇异面孔刺激比正常刺激诱发更大的 P3 波幅。

5 结论

本研究采用 ERP 技术结合参数设计揭示面孔生命性加工的神经电生理基础，结果显示 LPP 是反映面孔生命性加工的特异性成分，支持面孔生命性晚期加工观点。生命性等级加工的神经电反应模式呈“U”型激活，且面孔生命性的电反应与面孔生命性的类别指向性有关，面孔类别指向性越明确，电反应越强。这一结果有助于理解仿真机器人面孔知觉过程。

参考文献

- 郑晨烨, 王静梅, 胡佳, 王一逸, 郑娴, 张莹, 卢英俊. (2015). 面部空间特征关系对真人与卡通面孔吸引力影响的 ERP 发展性研究. *心理学进展*, 5(12), 816-827.
- Balas, B., & Auen, A. (2019). Perceiving animacy in own-and other-species faces. *Frontiers in Psychology*, 10, 29, doi: [10.3389/fpsyg.2019.00029](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00029).
- Balas, B., & Koldewyn, K. (2013). Early visual ERP sensitivity to the species and animacy of faces. *Neuropsychologia*, 51(13), 2876-2881, doi: [10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.014](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.014).
- Balas, B., & Tonsager, C. (2014). Face animacy is not all in the eyes: Evidence from contrast chimeras. *Perception*, 43(5), 355-367, doi: [10.1068/p7696](https://doi.org/10.1068/p7696).
- Balas, B., van Lamsweerde, A. E., Auen, A., & Saville, A. (2017). The impact of face inversion on animacy categorization. *i-Perception*, 8(4), 1-16, doi: [10.1177/2041669517723653](https://doi.org/10.1177/2041669517723653).
- Barry, R. J., Steiner, G. Z., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., Karamacoska, D., & MacDonald, B. (2020). Components in the P300: Don't forget the novelty P3! *Psychophysiology*, 57(7), e13371, doi: [10.1111/psyp.13371](https://doi.org/10.1111/psyp.13371).
- Bowling, N. C., & Banissy, M. J. (2017). Emotion expression modulates perception of animacy from faces. *Journal of Experimental Social Psychology*, 71, 83-95, doi: [10.1016/j.jesp.2017.02.004](https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.02.004).
- Farid, H., & Bravo, M. J. (2012). Perceptual discrimination of computer generated and photographic faces. *Digital Investigation*, 8(3-4), 226-235, doi: [10.1016/j.diin.2011.06.003](https://doi.org/10.1016/j.diin.2011.06.003).
- Fimreite, V., Ciuffreda, K. J., & Yadav, N. K. (2015). Effect of luminance on the visually-evoked potential in visually-normal individuals and in mTBI/concussion. *Brain Injury*, 29(10), 1199-1210, doi: [10.3109/02699052.2015.1035329](https://doi.org/10.3109/02699052.2015.1035329).
- Foti, D., Hajcak, G., & Dien, J. (2009). Differentiating neural responses to emotional pictures: Evidence from temporal-spatial PCA. *Psychophysiology*, 46(3), 521-530, doi: [10.1111/j.1469-8986.2009.00796.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00796.x).
- Hackel, L. M., Looser, C. E., & van Bavel, J. J. (2014). Group membership

- alters the threshold for mind perception: The role of social identity, collective identification, and intergroup threat. *Journal of Experimental Social Psychology*, 52, 15–23, doi: [10.1016/j.jesp.2013.12.001](https://doi.org/10.1016/j.jesp.2013.12.001).
- Hajcak, G., & Foti, D. (2020). Significance?... Significance! Empirical, methodological, and theoretical connections between the late positive potential and P300 as neural responses to stimulus significance: An integrative review. *Psychophysiology*, 57(7), e13570, doi: [10.1111/psyp.13570](https://doi.org/10.1111/psyp.13570).
- Hajcak, G., MacNamara, A., & Olvet, D. M. (2010). Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: An integrative review. *Developmental Neuropsychology*, 35(2), 129–155, doi: [10.1080/87565640903526504](https://doi.org/10.1080/87565640903526504).
- Joyce, C., & Rossion, B. (2005). The face-sensitive N170 and VPP components manifest the same brain processes: The effect of reference electrode site. *Clinical Neurophysiology*, 116(11), 2613–2631, doi: [10.1016/j.clinph.2005.07.005](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.07.005).
- Kaminska, O. K., Magnuski, M., Olszanowski, M., Gola, M., Brzezicka, A., & Winkielman, P. (2020). Ambiguous at the second sight: Mixed facial expressions trigger late electrophysiological responses linked to lower social impressions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 20(2), 441–454, doi: [10.3758/s13415-020-00778-5](https://doi.org/10.3758/s13415-020-00778-5).
- Koldewyn, K., Hanus, P., & Balas, B. (2014). Visual adaptation of the perception of “life”: Animacy is a basic perceptual dimension of faces. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(4), 969–975, doi: [10.3758/s13423-013-0562-5](https://doi.org/10.3758/s13423-013-0562-5).
- Liu, P., Forte, J., Sewell, D., & Carter, O. (2018). Cognitive load effects on early visual perceptual processing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 80(4), 929–950, doi: [10.3758/s13414-017-1464-9](https://doi.org/10.3758/s13414-017-1464-9).
- Looser, C. E., Guntupalli, J. S., & Wheatley, T. (2013). Multivoxel patterns in face-sensitive temporal regions reveal an encoding schema based on detecting life in a face. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8(7), 799–805, doi: [10.1093/scan/nss078](https://doi.org/10.1093/scan/nss078).
- Looser, C. E., & Wheatley, T. (2010). The tipping point of animacy: How, when, and where we perceive life in a face. *Psychological Science*, 21(12), 1854–1862, doi: [10.1177/0956797610388044](https://doi.org/10.1177/0956797610388044).
- Marzi, T., & Viggiano, M. P. (2010). When memory meets beauty: Insights from event-related potentials. *Biological Psychology*, 84(2), 192–205, doi: [10.1016/j.biopsycho.2010.01.013](https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.01.013).
- Olszanowski, M., Kaminska, O. K., & Winkielman, P. (2018). Mixed matters: Fluency impacts trust ratings when faces range on valence but not on motivational implications. *Cognition and Emotion*, 32(5), 1032–1051, doi: [10.1080/02699931.2017.1386622](https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1386622).
- Pendleton, D. M., Sakalik, M. L., Moore, M. L., & Tomporowski, P. D. (2016). Mental engagement during cognitive and psychomotor tasks: Effects of task type, processing demands, and practice. *International Journal of Psychophysiology*, 109, 124–131, doi: [10.1016/j.ijpsycho.2016.08.012](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.08.012).
- Schindler, S., Zell, E., Botsch, M., & Kissler, J. (2017). Differential effects of face-realism and emotion on event-related brain potentials and their implications for the uncanny valley theory. *Scientific Reports*, 7, 45003, doi: [10.1038/srep45003](https://doi.org/10.1038/srep45003).
- Schirmer, A., & Adolphs, R. (2017). Emotion perception from face, voice, and touch: Comparisons and convergence. *Trends in Cognitive Sciences*, 21(3), 216–228, doi: [10.1016/j.tics.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.01.001).
- Schwab, D., Zorjan, S., & Schienle, A. (2021). Face the food: Food plating with facial patterns influences appetite and event-related brain potentials. *Motivation and Emotion*, 45(1), 95–102, doi: [10.1007/s11031-020-09859-x](https://doi.org/10.1007/s11031-020-09859-x).
- Shultz, S., van den Honert, R. N., Engell, A. D., & McCarthy, G. (2015). Stimulus-induced reversal of information flow through a cortical network for animacy perception. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(1), 129–135, doi: [10.1093/scan/nsu028](https://doi.org/10.1093/scan/nsu028).
- Sun, S., Zhen, S. S., Fu, Z. Z., Wu, D. A., Shimojo, S., Adolphs, R., ... Wang, S. (2017). Decision ambiguity is mediated by a late positive potential originating from cingulate cortex. *Neuroimage*, 157, 400–414, doi: [10.1016/j.neuroimage.2017.06.003](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.003).
- Terrett, G., Horner, K., White, R., Henry, J. D., Kliegel, M., Labuschagne, I., & Rendell, P. G. (2019). The relationship between episodic future thinking and prospective memory in middle childhood: Mechanisms depend on task type. *Journal of Experimental Child Psychology*, 178, 198–213, doi: [10.1016/j.jecp.2018.10.003](https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.10.003).
- Wheatley, T., Weinberg, A., Looser, C., Moran, T., & Hajcak, G. (2011). Mind perception: Real but not artificial faces sustain neural activity beyond the N170/VPP. *PLoS One*, 6(3), e17960, doi: [10.1371/journal.pone.0017960](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017960).
- Xiang, J. L., Tang, M., & Wang, X. D. (2022). Adaptation in face animacy perception: An event-related potential study. *Neuropsychologia*, 165, 108118, doi: [10.1016/j.neuropsychologia.2021.108118](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108118).
- Yu, Q., & Kitayama, S. (2019). Does facial action modulate neural responses of emotion? An examination with the late positive potential (LPP). *Emotion*, 24(2), 442–446, doi: [10.1037/emo0000717](https://doi.org/10.1037/emo0000717).
- Zhao, J. Y., Meng, Q., An, L. C., & Wang, Y. F. (2019). An event-related potential comparison of facial expression processing between cartoon and real faces. *PLoS One*, 14(1), e0198868, doi: [10.1371/journal.pone.0198868](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198868).

(下转第 599 页)