

奖惩联结面孔刺激的注意偏向时程:来自 ERP 的证据*

代嘉幸¹, 张丽华²

(1. 中央司法警官学院监狱学学院, 保定 071000; 2. 辽宁师范大学心理学院, 大连 116029)

摘要:为考察奖惩联结面孔刺激在注意偏向时程上神经活动的特点,本研究采用训练—测试程序,在训练阶段采用外显联想学习任务,在测试阶段采用点探测范式,并结合 ERP 技术。结果发现:(1)与识别零结果联结刺激之后的目标相比,当目标出现在奖惩联结刺激之后时,对其识别更快,且奖惩联结刺激注意偏向分数差异不显著。(2)奖励联结刺激引发了显著的早期 N2pc 成分,晚期 N2pc 成分以及 SPCN 成分,而惩罚联结刺激只引发了显著的晚期 N2pc 成分和 SPCN 成分。在早期 N2pc 成分上,奖励联结刺激要显著大于惩罚联结刺激。结果表明:奖励联结面孔刺激存在早期注意定向,而惩罚联结面孔刺激的注意定向出现较晚,两类刺激均存在注意延迟脱离。

关键词:奖励学习;注意偏向;N2pc;SPCN

中图分类号:B842.5

文献标志码:A

文章编号:1003-5184(2024)06-0499-08

1 引言

无论是桑代克的饿猫迷笼实验,还是巴甫洛夫的经典条件反射实验,亦或是斯金纳的小白鼠实验,都属于联想式学习,在其中我们可以看到奖励学习在塑造行为方面的巨大力量。最初研究者们关注重点为奖励学习过程和外显行为之间的关系,但后来研究者们开始逐渐关注伴随着奖励增强行为反应的内部认知过程。Anderson 等人(2011)发现,奖励联结刺激可以吸引更多的注意资源,并且这一过程受到先前奖励选择历史的影响。具体来讲,刺激通过(重复地)与奖励联结改变了刺激的表征形式,使原本中性或不显著的刺激获得动机显著性,进而吸引注意(Berridge, 2007)。即使奖励联结刺激与任务无关且物理特征不具有突显性时,仍能得到优先加工(Sun et al., 2016; Watson et al., 2019)。

通常来讲,注意偏向具有一定的适应性,有利于个体趋利避害。注意偏向的成分包括早期注意定向和晚期注意解除困难,两者在不同注意加工阶段上起作用。以往很多研究也证明了奖励联结刺激存在注意偏向,但是关于惩罚对注意加工影响的相关研究较少(Müller et al., 2016; Sun et al., 2016)。已有的比较奖惩联结刺激注意偏向及其成分的研究并没有形成一致的结论。Sun 等人(2016)在训练阶段采用被试间设计,将无意义图形与奖励和惩罚建立联结。测试阶段采用点探测任务。结果发现,当线索

呈现时间为 500 ms,奖励联结刺激存在注意偏向,其成分为注意定向。但是在其研究中的学习阶段采用的是被试间设计,不能直接比较奖惩联结刺激的注意偏向。之后 Müller 等人(2016)在学习阶段采用被试内设计,将颜色与奖励和惩罚建立联结,在测试阶段的点探测任务中发现,奖励联结刺激存在注意偏向,且其成分为注意解除困难,奖励联结刺激的注意偏向大于惩罚联结刺激。但是该研究的学习阶段强调被试的反应速度,以至于错误率增高,这种对速度的要求可能会转移到后续的点探测任务中,导致定向效应被掩蔽。从以上研究中我们可以发现,由于线索刺激性质,学习方式以及实验设计不同,导致当前结论并不一致。且以往研究多为行为学实验,缺乏在注意偏向时程上对奖惩联结刺激注意分配的连续监控。因此有必要结合 ERP 技术,从而更直接地揭示点探测任务中线索刺激的注意偏向过程。

在情绪刺激注意偏向研究领域发现,个体对威胁刺激的注意定向和注意脱离分别与 N2pc 和 SPCN 成分有关(罗禹 等, 2020; Kappenman et al., 2015)。N2pc 是一种偏侧化成分,通常在刺激呈现后的 180~300 ms 出现在顶枕区的外侧后部电极(PO7/PO8),并被用作空间选择性注意的电生理指标(Holmes et al., 2009)。研究发现,威胁刺激会诱发更负的 N2pc 成分,表明威胁刺激引起更快的注

* 基金项目:中央司法警官学院博士科研启动经费专项项目(BSQDW202124)。

通信作者:代嘉幸, E-mail: jxdai_92@163.com。

意定向 (Holmes et al., 2009; Kappenman et al., 2015)。也有研究使用额外奇异刺激范式的变式发现奖励联结刺激引起更大的 N2pc 成分。Qi 等人 (2013) 发现奖励联结学习对 N2pc 成分的调节作用。在测试阶段, 当目标呈现在中线时, 单侧奖励相关的分心会引发 N2pc 成分, 并且在控制实验中排除了奖励相关分心熟悉度对 N2pc 成分的影响。当目标和奖励相关的分心呈现在两侧时, 在反应较慢的试次中发现奖励相关分心引发的 N2pc 成分早于目标引发的 N2pc 成分。

SPCN 成分同 N2pc 成分一样, 也是大脑后部对侧电极产生的偏侧化成分, 一般出现在目标刺激呈现后的 300 ms 之后。SPCN 成分反映了视觉短时记忆中与信息编码和保持有关的神经活动 (Dell'Acqua et al., 2006)。很多证据表明, 额-顶叶区域网络参与了短时记忆和持续注意的控制。短时记忆中表征的保持可以提供自上而下的偏向信号, 以保持一种“注意设置”, 从而将目标相关的刺激一直作为当前注意加工的中心。因此, 在情绪信号的短时记忆中, 视觉表征的更新将导致对情绪相关信息注意的保持。总之, SPCN 成分反映了个体对目标刺激的注意维持过程 (Holmes et al., 2009)。也有研究在威胁刺激上发现了更大的 SPCN 成分, 这表明个体对威胁性刺激存在注意维持, 注意更难从该刺激中脱离出来 (Holmes et al., 2009)。

综上, 以往研究对于奖惩联结刺激注意偏向的成分尚没有达成一致的觀點。与行为研究相比, 脑电研究可以直接测量奖惩联结刺激在时间上的加工进程。因此, 本研究采用点探测范式结合 ERP 技术进一步考察奖惩联结刺激的注意偏向机制。

2 研究方法

2.1 被试

利用 $G * Power$ 3.1 对样本量进行估计, 保证中等效应量 ($f=0.25, \alpha=0.05, 1-\beta=0.8$), 计算样本量至少需要 16 名被试 (Faul et al., 2007)。本研究共招募 25 名被试, 其中 3 名被试由于在学习阶段未达到学习标准被排除在外, 2 名被试由于伪迹过多被排除在外 (去伪迹后, 单个条件有效试次低于 50%)。有效被试 20 名 (女生 12 名), 年龄在 19 ~ 25 岁之间 ($M=20.25, SD=1.89$)。学习阶段被试所获得的报酬与其表现有关, 完成测试阶段的被试另给予 25 元额外的报酬。

2.2 实验材料

从中国情绪面孔图片库 (Chinese Facial Affec-

tive Picture System, CFAPS) 中选取 16 张中性面孔图片 (王妍, 罗跃嘉, 2005), 男女各半, 并对面孔图片的对比度、亮度进行控制。面孔图片均为灰度图片, 无头发及颈部。每个面孔图片高为 10.2 cm, 宽为 9.3 cm, 面孔图片中心距离中央注视点 8 cm。探测刺激为黑色圆点, 出现在左侧或右侧面孔图片之后的位置, 距离中央注视点 8 cm。所有刺激均在灰色背景的 19 寸显示屏 (分辨率为 1024×768 , 刷新率为 60 Hz) 上呈现。

2.3 实验设计

实验采用 2 (线索价值性: 奖励, 惩罚) \times 2 (一致性: 一致、不一致) 两因素被试内实验设计。

2.4 实验流程

2.4.1 价值学习阶段

实验在安静的房间中进行, 被试距离电脑屏幕 65 cm。在学习阶段, 通过外显联想学习范式将 16 个固有中性面孔与奖励、惩罚和零结果进行联结学习, 奖励和惩罚结果条件下各 4 张面孔, 零结果条件下 8 张面孔, 面孔随机分配到各个条件, 且面孔性别在各条件下平衡。根据 CFAPS 中每张面孔在四个维度上的 1 ~ 9 级评分 (王妍, 罗跃嘉, 2005), 三类面孔在效价 [奖励联结面孔: 4.84 ± 0.43 , 惩罚联结面孔: 4.11 ± 0.28 , 零结果联结面孔: 4.24 ± 0.49 , $F(2, 13) = 3.38, p = 0.066$], 唤醒度 [奖励联结面孔: 3.75 ± 0.63 , 惩罚联结面孔: 3.92 ± 0.57 , 零结果联结面孔: 3.71 ± 0.65 , $F(2, 13) = 0.15, p = 0.862$], 优势度 [奖励联结面孔: 5.00 ± 0.42 , 惩罚联结面孔: 4.68 ± 0.34 , 零结果联结面孔: 5.00 ± 0.22 , $F(2, 13) = 1.59, p = 0.240$] 和吸引力 [奖励联结面孔: 4.46 ± 0.50 , 惩罚联结面孔: 3.90 ± 0.46 , 零结果联结面孔: 4.02 ± 0.20 , $F(2, 13) = 2.98, p = 0.086$] 评定上差异不显著。

实验前, 告知被试其任务为学习每张面孔的正确结果分配, 要求被试对面孔性质进行归类 (奖励, 惩罚或零结果), 使用其利手的食指, 中指, 无名指作相应按键反应。按键反应在被试间进行平衡, 但在被试内保持恒定。由于没有提供测试试次, 被试将在第一个组块做随机猜测反应。此外, 实验前需要向被试充分解释所呈现的反馈方案。反馈方案如下: 对于奖励相关的面孔, 正确分类 + 20 分, 错误分类 + 10 分; 对于惩罚相关的面孔, 正确分类 - 10 分, 错误分类 - 20 分; 对于零结果相关的面孔, 正确分类 + 0 分, 错误分类 - 0 分。如果被试未能在

5000 ms内作答,则扣除 50 分。

实验流程如下(见图1):首先注视点在中央呈现 500 ms,之后呈现面孔刺激,最多呈现 5000 ms,按键后消失。接着呈现 1500 ms 的空屏,最后呈现反馈,时间为 1000 ms。试次之间的时间间隔为 1000 ms。反馈刺激包括一个灰色圆圈,奖励或惩罚的分数在里面呈现,且字体颜色不同,奖励为绿色,惩罚为红色,零结果为黑色,超时为蓝色。

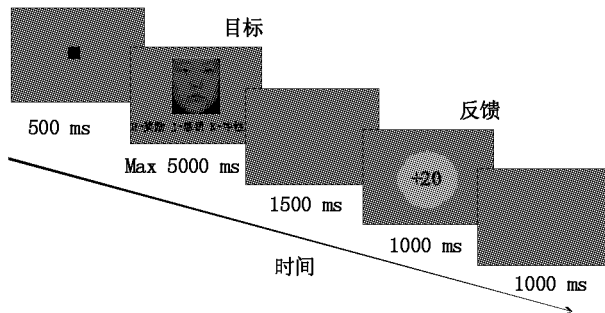


图1 价值学习阶段实验流程(以学习奖励面孔为例)

学习阶段共包括 30 个组块,16 张面孔刺激随机呈现在每个组块中,因此总共有 480 个试次。每个组块之间被试可自行决定是否休息,并向被试呈现当前累计的奖励金额信息。为确保被试成功的学习,参照 Hammerschmidt 和 Kulke 等人(2018)的研究制定了学习标准(最后 50 个试次中,48 个正确分类)。如果被试成功的学习了,则继续完成 10 个额外的组块以巩固之前学习的联结。如果被试没有达到学习标准,则不能参加后续测试,仅可获得 5 元。被试学习阶段基本启动奖金为 300 分,根据被试的表现最终可获得奖励从 15 元到 36 元不等($M = 25.83, SD = 5.85$),分数与金钱奖励的转换关系未提前告知被试。

2.4.2 测试阶段——点探测任务

测试阶段在第二天进行。这一阶段告知被试没有奖励,不提供任何反馈。流程如下(见图2)。

实验分为练习阶段和正式实验阶段。练习阶段包括 8 个练习试次。正式实验包括 512 个试次,其中奖励—零结果配对为 256 个试次,惩罚—零结果配对为 256 个试次。实验包括 8 个组块,每个组块 64 个试次。每个组块中面孔线索位置(左,右)、目标位置(左,右)和线索类型(奖励,惩罚)随机等概率呈现。

2.5 数据统计与分析

2.5.1 行为学数据分析

价值学习巩固阶段:价值学习的标准为,在学习

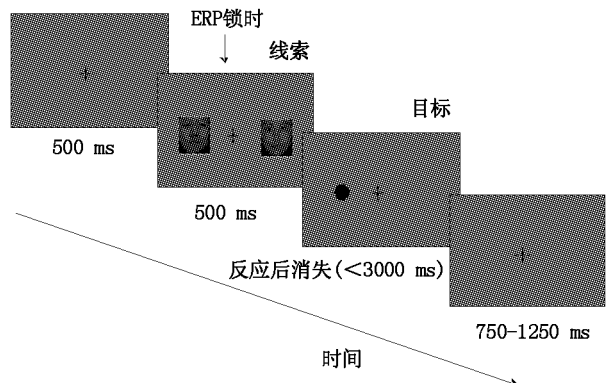


图2 点探测任务流程图(以奖励一致试次为例)

阶段最后 50 个试次中,48 个正确分类。对巩固阶段的反应时和准确率进行单因素重复测量方差分析。

测试阶段:删除反应错误的试次(剔除试次比率为 0.20%),删除反应时过快(<200 ms)及过慢(>1300 ms)的试次(剔除试次比率为 0.70%)(Holmes et al., 2009)。通过计算每名被试在每种条件下的反应时均值,然后进一步调整反应时数据,删除每个条件下三个标准差之外的异常值。以反应时为因变量,采用 2(线索价值性:奖励,惩罚) × 2(一致性:一致、不一致)重复测量方差分析。

在点探测任务中,如果价值联结刺激存在注意偏向,则一致试次上的反应时要比不一致试次短。计算注意偏向分数,注意偏向分数 = $RT_{不一致} - RT_{一致}$ (不一致条件上的反应时) - $RT_{一致}$ (一致条件上的反应时)。正值代表对价值联结刺激存在注意偏向,负值则表示存在注意回避。采用配对样本 t 检验比较奖励和惩罚线索上注意偏向分数的差异。对于不满足球形检验的假设的 p 值采用 Greenhouse Geisser 法进行矫正。

2.5.2 脑电记录和分析

脑电活动是通过 64 导的电极帽记录的(Brain Products, GmbH, Germany)。实验记录时使用 FCz 为参考电极,接地电极位于前额中部。在右眼眼眶下方记录垂直眼电(vertical EOG),在左眼和右眼眼眶边缘记录水平眼电(horizontal EOG)。所有电极的电阻保持在 5 kΩ 以下。脑电信号和眼电信号是用 0.05 ~ 100 Hz 的带通滤波器进行放大,并在 500 Hz 的采样率下进行连续采样以备离线分析。

原始脑电数据使用 Brain Vision Analyzer 2.0 离线处理(Brain Product GmbH; Gilching, Germany)。数据分析中,首先转换参考电极,以双侧乳突平均作为参考。以线索出现为标记,线索出现前 200 ms 到

线索出现后 500 ms 为时间窗口,线索 ERP 分析窗口为 700 ms,以线索呈现前 200 ms 为基线进行校正。之后矫正眼动伪迹(Gratton et al., 1983),进行低通数字滤波(30 Hz, 24 dB/octave)和高通滤波(0.1 Hz, 12 dB/octave)。EOG 伪迹超过 $\pm 80 \mu\text{V}$ 的试次以及由于放大器剪裁,肌电活动和峰值偏移而造成的超过 $\pm 100 \mu\text{V}$ 的试次在平均叠加时都被剔除。之后只选取被试判断正确试次的 EEG 进行叠加平均。

基于前人的研究(Holmes et al., 2009),确定各成分的时间窗口和兴趣区(ROIs)电极:(1)早期 N2pc:180~250 ms, PO7 和 PO8;(2)晚期 N2pc:250~320 ms, PO7 和 PO8;(3)SPCN:320~500 ms, PO7 和 PO8。分别计算奖励联结刺激和惩罚联结刺激的对侧电极(右半球—左侧奖励相关刺激,左半球—右侧奖励相关刺激)和同侧电极(左半球—左侧奖励相关刺激,右半球—右侧奖励相关刺激)产生的波幅,之后计算“对侧(M_{contra})减同侧(M_{ipsi})”的差异波(M_d)。N2pc 和 SPCN 均计算平均波幅。

分别以早期 N2pc,晚期 N2pc 和 SPCN 成分的平均波幅为因变量,采用 2(线索价值性:奖励,惩罚)×2(价值相关面孔位置:左,右)×2(对侧性:对侧电极,同侧电极)重复测量方差分析。分别以早期 N2pc,晚期 N2pc 和 SPCN 成分的差异波幅(M_d)

为因变量,采用配对样本 t 检验比较奖励联结刺激和惩罚联结刺激在差异波幅上的差异。对于不满足球形检验的假设的 p 值采用 Greenhouse Geisser 法进行矫正。

3 实验结果

3.1 价值学习巩固阶段

对巩固阶段反应时重复测量方差分析发现,价值类型主效应显著, $F(2, 38) = 14.34, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.43$,事后检验发现,惩罚联结刺激上的反应时要显著慢于零结果联结刺激($p = 0.001$)和奖励联结刺激($p = 0.001$)。而对巩固阶段准确率的方差分析未发现不同价值类型之间存在差异, $F(2, 38) = 0.71, p = 0.500$,各价值类型刺激在准确率上出现天花板效应($>99\%$)。

3.2 测试阶段

3.2.1 行为学结果

反应时数据见表 1。对反应时进行方差分析发现,一致性主效应显著, $F(1, 19) = 6.82, p = 0.017, \eta_p^2 = 0.26$,一致条件下的反应时要显著快于不一致条件下的反应时。其余主效应及交互效应均不显著, $ps > 0.25$ 。对注意偏向分数进行配对样本 t 检验,结果发现奖励联结刺激上的注意偏向分数与惩罚联结刺激上的注意偏向分数差异不显著, $p = 0.258$ 。

表 1 点探测任务中的反应时(ms)以及 ERP 波幅(μV)的描述性统计结果($M \pm SD$)

	反应时			ERP 波幅		
	一致条件	不一致条件	偏向分数	早期 N2pc	晚期 N2pc	SPCN
奖励联结— 零结果联结面孔对	355.23 \pm 24.86	359.86 \pm 24.86	4.63 \pm 5.07	-0.46 \pm 0.50	-0.73 \pm 0.56	-0.33 \pm 0.42
惩罚联结— 零结果联结面孔对	355.68 \pm 23.55	357.96 \pm 23.55	2.29 \pm 9.20	-0.14 \pm 0.35	-0.62 \pm 0.64	-0.30 \pm 0.55

3.2.2 脑电结果

早期 N2pc 成分(180~250 ms):

以早期 N2pc 成分的平均波幅为因变量,进行 2(线索价值性:奖励,惩罚)×2(价值相关面孔位置:左,右)×2(对侧性:对侧电极,同侧电极)重复测量方差分析。结果发现(见图 3),对侧性主效应显著, $F(1, 19) = 12.76, p = 0.002, \eta_p^2 = 0.40$,对侧电极引发的波幅($M = -1.43 \mu\text{V}$)要显著大于同侧电极引发的波幅($M = -1.13 \mu\text{V}$)。线索价值性与对侧性交互作用显著, $F(1, 19) = 10.79, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.36$ 。对于其余主效应和交互效应均不显著, $Fs <$

4.03, $ps > 0.05$ 。对线索价值性与对侧性交互作用进一步进行简单效应分析发现,奖励联结刺激在对侧电极引发的波幅要显著大于同侧电极, $p = 0.001$,这表明奖励联结刺激引发了显著的早期 N2pc 成分;惩罚联结刺激在对侧电极引发的波幅与同侧电极差异不显著, $p = 0.092$,这表明惩罚联结刺激上早期 N2pc 成分不显著。

以早期 N2pc 成分的差异波幅为因变量进行配对样本 t 检验,结果发现(见图 4),奖励联结刺激引发的早期 N2pc 成分的差异波幅要显著大于惩罚联结刺激, $t(19) = -3.28, p = 0.004, d = 0.73$ 。

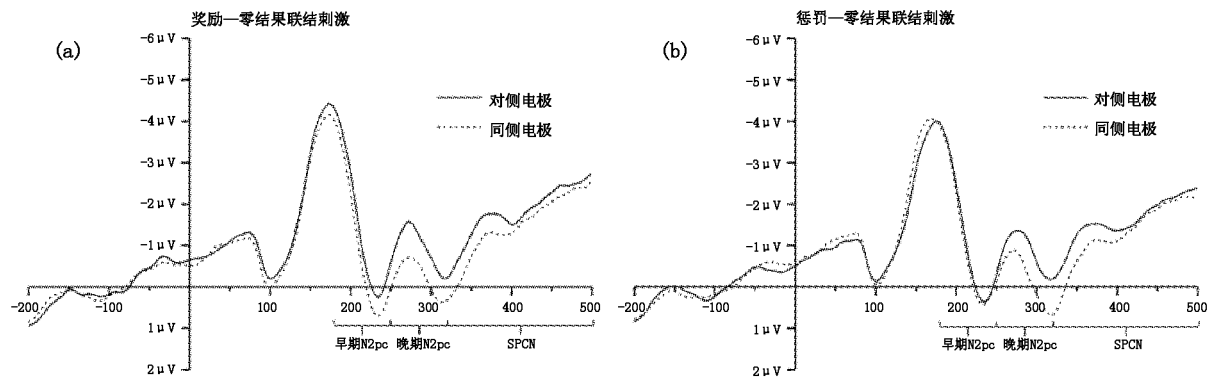


图3 奖励联结刺激和惩罚联结刺激在 PO7/PO8 电极点对侧和同侧上的 ERP 波形图

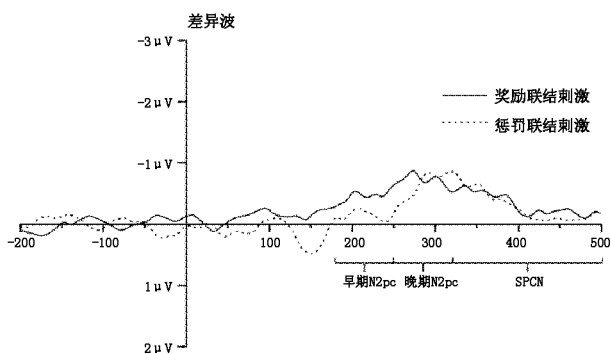


图4 在 PO7/PO8 电极点上,奖励联结刺激和惩罚联结刺激对侧和同侧的差异波波形图
晚期 N2pc 成分(250 ~ 320 ms):

以晚期 N2pc 成分的平均波幅为因变量,进行 2 (线索价值性:奖励,惩罚) \times 2 (价值相关面孔位置:左,右) \times 2 (对侧性:对侧电极,同侧电极) 重复测量方差分析。结果发现(见图 3),对侧性主效应显著, $F(1, 19) = 32.93, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.63$,对侧电极引发的波幅($M = -0.90 \mu V$)要显著大于同侧电极引发的波幅($M = -0.23 \mu V$),且线索价值性和对侧性交互不显著,表明奖励联结刺激和惩罚联结刺激均引发了显著的晚期 N2pc 成分。线索价值性和价值相关面孔位置交互作用显著, $F(1, 19) = 7.18, p = 0.015, \eta_p^2 = 0.27$ 。对于其余主效应和交互效应均不显著, $F_s < 1.51, p_s > 0.23$ 。

以晚期 N2pc 成分的差异波幅为因变量进行配对样本 t 检验,结果发现(见图 4),奖励联结刺激引发的晚期 N2pc 成分的差异波幅与惩罚联结刺激差异不显著, $p = 0.426$ 。

SPCN 成分(320 ~ 500 ms):

以 SPCN 成分的平均波幅为因变量,进行 2 (线索价值性:奖励,惩罚) \times 2 (价值相关面孔位置:左,右) \times 2 (对侧性:对侧电极,同侧电极) 重复测量方差分析。结果发现(见图 3),对侧性主效应显著, $F(1, 19) = 11.21, p = 0.003, \eta_p^2 = 0.37$,对侧电极引

发的波幅($M = -1.67 \mu V$)要显著大于同侧电极引发的波幅($M = -1.36 \mu V$),且线索价值性和对侧性交互不显著,表明奖励联结刺激和惩罚联结刺激均引发了显著的 SPCN 成分。对于其余主效应和交互效应均不显著, $F_s < 3.72, p_s > 0.06$ 。

以 SPCN 成分的差异波幅为因变量进行配对样本 t 检验,结果发现(见图 4),奖励联结刺激引发的 SPCN 成分的差异波幅与惩罚联结刺激差异不显著, $p = 0.815$ 。

4 讨论

本研究结合 ERP 技术考察了奖惩联结刺激在注意偏向时程上的特点。行为学结果发现,与识别零结果联结刺激之后的目标相比,当目标出现在奖惩联结刺激之后时,对其识别更快;奖惩联结刺激注意偏向分数差异不显著。脑电结果发现,奖励联结刺激引发了显著的早期 N2pc 成分,晚期 N2pc 成分以及 SPCN 成分;而惩罚联结刺激只引发了显著的晚期 N2pc 成分和 SPCN 成分。在早期 N2pc 成分上,奖励联结刺激要显著大于惩罚联结刺激,但是在晚期 N2pc 和 SPCN 上两类刺激差异不显著。这表明,奖励联结刺激和惩罚联结刺激均存在晚期注意维持(注意延迟脱离),但是与惩罚联结刺激相比,奖励联结刺激在早期注意定向上更有优势。

先前关于奖惩联结刺激注意偏向成分一直存在争议。大部分研究使用行为学方法,记录反应时或眼动指标(Müller et al., 2016; Pool et al., 2014; Sun et al., 2016)。但是反应时数据不能为注意偏向提供连续的测量,仅是对线索上注意分配的间接测量。比如在行为学结果中,未发现奖惩联结刺激的注意偏向分数存在显著差异,但是脑电实验结果却发现奖惩联结刺激在早期注意定向(早期 N2pc 成分)上具有显著差异。因此反应时指标具有一定的局限性。

N2pc 成分反映了早期视觉空间注意定向;

SPCN 成分反映了对目标刺激的注意维持过程,是视觉短时记忆中与信息编码和保持有关的神经活动 (Dell'Acqua et al., 2006)。本研究结果发现,奖励联结刺激引起了早期 N2pc 成分,晚期 N2pc 成分和 SPCN 成分,而惩罚联结刺激只引起了晚期 N2pc 成分和 SPCN 成分。奖励联结刺激注意定向较早,并且注意很难从该刺激上脱离。这一结果与 Qi 等人 (2013) 的研究结果部分一致。Qi 等人 (2013) 发现奖励联结学习对 N2pc 成分的调节作用。在测试阶段,当目标呈现在中线时,呈现在一侧的奖励联结分心刺激会引发 N2pc 成分,当目标和奖励联结分心呈现在两侧时,奖励相关的分心会引发 N2pc 成分,但是仅在反应较慢的试次中发现奖励联结分心刺激引发的 N2pc 成分要早于目标引发的 N2pc 成分。此外, Hickey 等人 (2010) 发现,奖励历史会改变奖励相关特征的知觉和注意加工,无论奖励联结刺激作为目标刺激还是作为分心刺激呈现,奖励联结刺激均会引起更大的 P1 成分以及 N2pc 成分。这些结果表明,在学习阶段,奖励通过重复的连接改变了刺激的表征形式,使其在早期视觉注意中更加突出。神经影像学研究也为奖励联结刺激存在早期注意加工提供了证据,具有奖励历史的刺激产生的神经元活动早在纹状体外皮层就沿着视觉皮层增加 (Anderson, 2017; Anderson, Leal, et al., 2014)。

奖励联结刺激不仅存在早期注意定向,还存在着注意延迟脱离 (Watson et al., 2019)。与本研究结果类似, Watson 等人 (2019) 使用眼动技术证明了奖励联结刺激存在注意延迟脱离。在一个刺激阵列中,分心刺激呈现在中央 (中央分心试次), 目标刺激呈现在外周,要求被试在任务开始前眼睛注视中央位置。结果发现,当中央分心刺激为高奖励相关的颜色时,眼动潜伏期要长于当中央分心刺激为低奖励相关颜色,这一结果表明高奖励分心刺激存在注意延迟脱离。中性刺激在与奖励重复的联结过程中获得了动机显著性 (Berridge, 2007; Berridge & Robinson, 1998), 并且在记忆中得到编码及保持。在记忆中保持的表征可能会提供自上而下的偏向信号,从而使注意维持在奖励联结刺激,因此奖励联结刺激会引起显著的 SPCN 成分。

本研究发现惩罚联结刺激注意定向较晚,但是存在注意延迟脱离。这一结果似乎违背了威胁优先效应 (Öhman & Mineka, 2001)。以往研究将中性刺激与惩罚刺激 (电击刺激和白噪声刺激) 进行联结 (Koster et al., 2004; Nissens et al., 2017), 证明了惩罚联结刺激存在早期注意定向。Nissens 等人

(2017) 使用眼动捕获程序考察了威胁性信号刺激的选择性注意加工。在该实验中,威胁信号刺激 (如红色圆形) 作为分心刺激出现,要求被试搜索目标刺激 (如五个彩色圆形中的菱形)。该实验控制了自上而下和自下而上的注意加工过程,威胁信号刺激既不作为任务目标出现,在物理特征上也不具有突显性。注意威胁信号刺激不仅不利于任务表现,而且还会遭到电击。但是结果仍然发现,被试最初的眼动注意捕获仍会受到威胁信号刺激的影响。这表明个体存在一个威胁评估系统,该系统可以在信息加工的早期阶段自动对威胁性相关刺激进行编码 (Mathews & Mackintosh, 1998), 这有助于个体监测环境中潜在的新异危险信息 (Öhman & Mineka, 2001)。Nissens 等人 (2017) 研究中使用的电击刺激与个体生存密切相关,而在本研究中,中性刺激与分数损失相联结,其威胁性较弱甚至并不能构成真正的威胁 (Chapman et al., 2015), 这可能是本研究未发现惩罚联结刺激存在早期注意定向的原因。

奖励联结刺激的注意定向要早于惩罚联结刺激,这一脑电结果似乎得到了学习巩固阶段行为结果的支持。行为数据表明,与奖励联结刺激相比,惩罚联结刺激上的反应时要慢。在学习巩固阶段,个体已经学会了面孔与价值之间的联结关系,奖励相关的面孔作为积极刺激 (+20 分) 可能会促进被试的反应,而惩罚相关的面孔代表一种损失厌恶刺激 (-10 分) 可能会抑制被试的反应,这表明个体对损失相关刺激的反应更慢 (Chapman et al., 2015)。Hammerschmidt 等人 (2017) 在二项反应的贝叶斯累加多层回归模型的基础上,进一步分析了学习阶段的行为数据,结果发现,与奖励联结刺激相比,惩罚联结刺激学习的更慢,不具有明显的学习优势。这一结果可以在强化理论背景下解释,分数奖励属于积极的强化,而分数损失代表消极的惩罚,需要扣除奖励。而对奖励联结刺激的早期注意定向有助于个体增加获得奖励同时降低损失,这一适应机制符合个体适应环境的目标 (Sun et al., 2016)。

虽然惩罚联结刺激未能引起早期注意定向,但是与奖励联结刺激类似,其存在注意延迟脱离。这一结果在行为结果中也得到证实。行为学结果表明,个体对奖惩联结刺激之后的目标反应更快,这可能与奖惩联结刺激引起显著的 SPCN 成分有关。Bucker 和 Theeuwes (2016) 使用外源性线索-靶子范式,在抑制条件下比较了奖惩联结线索刺激的注意偏向成分。在其研究中,将颜色与价值之间建立了联结。具体来讲,线索为三种不同颜色的小框。

不同颜色分别代表着奖励,惩罚和中性。颜色和价值之间的关系在被试之间进行平衡。被试事先并不知道颜色与奖励之间的关系。要求被试对靶子进行反应,之后呈现相应的反馈。在奖励,惩罚和中性线索条件下,对靶子反应后的反馈分别为“+ 10 ct”,“- 5 ct”,“0 ct”。结果发现,在线索与目标呈现之间的时间间隔(960 ms)较长的条件下,奖励线索上出现易化效应,表明注意从奖励线索位置的脱离存在延迟;而惩罚线索上出现返回抑制效应,表明惩罚线索会加速注意脱离,使注意重新定向到无效线索位置。针对惩罚联结刺激的注意加工特点,本研究与Bucker和Theeuwes(2016)的研究结果存在一定的差异,可能的解释如下。一方面,Bucker和Theeuwes(2016)使用的是线索-靶子范式,奖惩联结刺激作为单线索呈现,主要侧重于测量注意的定向和转移;而本研究采用的是点探测范式,奖惩联结刺激与零结果联结刺激成对呈现,主要测量的是注意定向和保持。可能对于惩罚联结刺激,仅在与零结果联结刺激竞争时才具有保持注意的优势。另一方面,Bucker和Theeuwes(2016)实验中线索与目标呈现之间的时间间隔为960 ms,而本研究时间间隔为500 ms,可能在晚期抑制条件下,惩罚联结刺激的注意优势会消失。本研究发现惩罚联结刺激存在注意延迟脱离,这表明过去惩罚经验的学习也会使惩罚联结刺激获得一定的动机显著性(Watson et al., 2019),并且在记忆中得到编码形成表征,从而自上而下的影响后期的注意维持过程(Holmes et al., 2009)。

总之,本研究发现奖惩联结刺激在注意偏向时间进程上存在差异,奖励联结刺激存在更早的注意定向。虽然奖励联结刺激和惩罚联结刺激均具有一定的动机显著性,可以驱动行为,但是两者在价值性上是不同的,这表明两者可能具有不同的加工机制(Chapman et al., 2015; Kahn et al., 2002)。

另外,本研究也有不足之处。第一,本研究在学习阶段采用的是外显联想学习任务,因此所得结论是在外显联想学习前提下得到的,今后研究中可以在学习阶段采用内隐学习任务,以考察内隐学习是否以外显学习同样的方式影响注意加工。第二,本研究测试阶段是在训练阶段的第二天完成的,探讨了奖惩联结面孔刺激的注意偏向过程。但是未系统探讨这种奖励效应或惩罚能够持续多长时间。因此今后研究可以进一步考察奖励或惩罚效应的持续时间,从而为临床上成瘾人群的认知干预提供依据。

5 结论

(1)奖惩联结刺激均具有一定的动机显著性,个体对出现在奖惩联结刺激之后的目标识别更快。

(2)奖励联结刺激存在早期注意定向(180 ms ~ 250 ms),惩罚联结刺激注意定向较晚(250 ms后)。奖惩联结刺激均存在注意维持,注意发生延迟脱离(250 ms ~ 500 ms)。

参考文献

- 罗禹, 念靖晴, 鲍未, 张静静, 赵守盈, 潘运, 许爽, 张禹. (2020). 急性应激损害对威胁刺激的注意解除. *心理学报*, 52(1), 26-37.
- 王妍, 罗跃嘉. (2005). 大学生面孔表情材料的标准化及其评定. *中国临床心理学杂志*, 13(4), 396-398.
- Anderson, B. A. (2017). Reward processing in the value-driven attention network: Reward signals tracking cue identity and location. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(3), 461-467.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), 10367-10371.
- Anderson, B. A., Leal, S. L., Hall, M. G., Yassa, M. A., & Yantis, S. (2014). The attribution of value-based attentional priority in individuals with depressive symptoms. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14(4), 1221-1227.
- Berridge, K. C. (2007). The debate over dopamine's role in reward: The case for incentive salience. *Psychopharmacology*, 191(3), 391-431.
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward: Hedonic impact, reward learning, or incentive salience? *Brain Research Reviews*, 28(3), 309-369.
- Bucker, B., & Theeuwes, J. (2016). Appetitive and aversive outcome associations modulate exogenous cueing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(7), 2253-2265.
- Chapman, C. S., Gallivan, J. P., Wong, J. D., Wispinski, N. J., & Enns, J. T. (2015). The snooze of lose: Rapid reaching reveals that losses are processed more slowly than gains. *Journal of Experimental Psychology General*, 144(4), 844-863.
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicoeur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attentional blink. *Psychophysiology*, 43, 394-400.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(4), 468-484.
- Hammerschmidt, W., Kulke, L., Broering, C., & Schacht, A.

- (2018). Money or smiles: Independent ERP effects of associated monetary reward and happy faces. *PLoS One*, 13(10), e0206142.
- Hammerschmidt, W., Sennhenn – Reulen, H., & Schacht, A. (2017). Associated motivational salience impacts early sensory processing of human faces. *NeuroImage*, 156, 466 – 474.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010). Reward changes salience in human vision via the anterior cingulate. *The Journal of Neuroscience*, 30(33), 11096 – 11103.
- Holmes, A., Bradley, B. P., Kragh Nielsen, M., & Mogg, K. (2009). Attentional selectivity for emotional faces: Evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, 46(1), 62 – 68.
- Kahn, I., Yeshurun, Y., Rotshtein, P., Fried, I., Ben – Bashat, D., & Hendler, T. (2002). The role of the amygdala in signaling prospective outcome of choice. *Neuron*, 33(6), 983 – 994.
- Kappenman, E. S., MacNamara, A., & Proudfit, G. H. (2015). Electrocortical evidence for rapid allocation of attention to threat in the dot – probe task. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(4), 577 – 583.
- Koster, E. H., Crombez, G., Van Damme, S., Verschuere, B., & De Houwer, J. (2004). Does imminent threat capture and hold attention? *Emotion*, 4(3), 312 – 317.
- Mathews, A., & Mackintosh, B. (1998). A cognitive model of selective processing in anxiety. *Cognitive Therapy and Research*, 22(6), 539 – 560.
- Müller, S., Rothermund, K., & Wentura, D. (2016). Relevance drives attention: Attentional bias for gain – and loss – related stimuli is driven by delayed disengagement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 69(4), 752 – 763.
- Nissens, T., Failing, M., & Theeuwes, J. (2017). People look at the object they fear: Oculomotor capture by stimuli that signal threat. *Cognition and Emotion*, 31(8), 1 – 8.
- Öhman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108(3), 483 – 522.
- Pool, E., Brosch, T., Delplanque, S., & Sander, D. (2014). Where is the chocolate? Rapid spatial orienting toward stimuli associated with primary reward. *Cognition*, 130(3), 348 – 359.
- Qi, S., Zeng, Q., Ding, C., & Li, H. (2013). Neural correlates of reward – driven attentional capture in visual search. *Brain Research*, 1532, 32 – 43.
- Sun, L., Ding, C., Xu, M., Diao, L., & Yang, D. (2016). Engagement attentional bias toward value – associated stimuli. *Current Psychology*, 36(4), 1 – 8.
- Watson, P., Pearson, D., Chow, M., Theeuwes, J., Wiers, R. W., Most, S. B., & Le Pelley, M. E. (2019). Capture and Control: Working memory modulates attentional capture by reward – related stimuli. *Psychological Science*, 30(8), 1174 – 1185.

The Time – course Difference of Attentional Bias to Reward – associated and Punishment – associated Facial Stimuli: An ERP Study

Dai Jiaxing¹, Zhang Lihua²

(1. School of Penology, The National Police University for Criminal Justice, Baoding 071000;

2. School of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

Abstract: To investigate the neural activity characteristics of reward – associated and punishment – associated stimuli in the time course of attentional bias, the training – test procedure was adopted in the present study. In the training phase, an explicit associative learning paradigm was used, and in the testing phase, the dot – probe paradigm was adopted, combined with event – related potential (ERP) technique. Results showed that: First, RTs were faster to probes replacing reward – associated and punishment – associated stimuli compared to zero – outcome – associated stimuli, and there was no difference in attentional bias score between reward – associated and punishment – associated stimuli. Second, reward – associated stimuli elicited significant early N2pc components, late N2pc components and SPCN components, while punishment – associated stimuli elicited significant late N2pc components and SPCN components. Reward – associated stimuli elicited a larger early N2pc components than punishment – associated stimuli. The main conclusions are as follows: (1) Attentional orienting to reward – associated facial stimuli emerged earlier than orienting to punishment – associated facial stimuli. (2) Disengagement of attention from reward – associated and punishment – associated facial stimuli was delayed.

Key words: reward learning; attentional bias; N2pc; SPCN