

无意识恐惧习得对恐惧泛化的影响： 来自脑电和行为的证据^{*}

周亦佳 高彩彩 梅颖 雷怡^{**}
(四川师范大学脑与心理科学研究院, 成都, 610066)

摘要 为了验证无意识恐惧习得的有效性, 考察其对基于概念关系和概念距离的恐惧泛化的影响, 结合后向掩蔽和恐惧条件反射范式进行一项脑电实验。结果发现, 无意识恐惧习得阶段, 威胁条件刺激的电击预期评分显著高于安全条件刺激, 且诱发了更大的 P300 波幅; 意识泛化阶段, 分类泛化刺激诱发的 P2 波幅显著大于主题泛化刺激; 分类威胁泛化刺激诱发的 P2 波幅显著大于分类安全泛化刺激; 分类安全泛化刺激诱发的 P2 波幅显著大于主题安全泛化刺激; 威胁条件刺激在顶部诱发的 P600 波幅大于安全条件刺激。结果表明无意识恐惧习得的有效性, 分类概念相比主题概念更具有恐惧加工优势, 无意识恐惧条件化可能较难有意识消退。

关键词 无意识恐惧 恐惧泛化 分类概念 ERP P2 P300 P600

1 引言

恐惧作为一种适应性情绪, 能够帮助个体快速而准确地学习和辨别复杂环境中的威胁性刺激。然而, 自然界中刺激种类繁多, 个体习得恐惧反应后的威胁性刺激很少以完全相同的形式再次出现。因此, 具备跨刺激和跨情境的概括学习能力, 即恐惧泛化 (fear generalization), 就显得非常重要。然而, 个体一旦对与恐惧刺激相似但安全的刺激产生过多恐惧、回避行为, 即过度恐惧泛化, 则可能会导致焦虑障碍 (Hofmann, 2008; Lissek et al., 2014; Vicario et al., 2020)。另外, 有研究发现抑郁和受损的恐惧习得 (fear acquisition)、消退 (fear extinction) 有关 (Wurst et al., 2021)。但是, 结论并不一致, 比如也有研究发现, 抑郁症患者表现出增强的恐惧习得 (Nissen et al., 2010)。综上所述, 深入探讨焦虑、抑郁维度与恐惧加工各环节的关联, 能够为理解和干预相关情绪障碍提供更精细化的理论依据。

恐惧相关研究通常采用恐惧条件反射范式 (fear

conditioning paradigm)。在该范式中, 呈现两个中性刺激 (conditioned stimulus, CS, 如大小圆圈), 其中一个中性刺激 (CS+, 如大圆) 多次与无条件刺激 (unconditioned stimulus, US, 如电击) 配对出现。随后, 当 CS+ 单独呈现时, 也能诱发个体的恐惧反应, 即个体习得恐惧, CS+ 也被称为威胁条件刺激。从未与 US 配对的 CS 称为 CS- (如小圆), 代表安全条件刺激。与 CS+ 相似但安全的刺激被称为泛化刺激 (generalization stimulus, GS, 如从大到小半径依次递减的圆圈)。

前人探究了未意识到 CS-US 联结 (CS-US contingency) 的情况下能否恐惧条件化, 而目前仍未有定论 (Carmel et al., 2011; Schultz & Helmstetter, 2010)。掩蔽是操纵联结意识 (contingency awareness) 的有效方式之一。先前的研究表明, 三明治掩蔽 (sandwich masking) 极大地降低了视觉刺激的知觉意识 (Harris et al., 2011)。在该范式中, 目标刺激 (goal stimuli) 呈现的时间极短, 通常为 10~30ms, 且前后均呈现掩蔽刺激 (masking

^{*} 本研究得到国家自然科学基金面上项目 (32271142)、科技创新 2030-2022ZD0210900 和教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目 (21JZD063) 的资助。

^{**} 通讯作者: 雷怡, E-mail: leiyi821@vip.sina.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20260204

stimuli), 使得参与者无法意识到目标刺激, 因此, 无法意识到 CS-US 联结。本研究采用三明治掩蔽范式, 探索了恐惧习得是否仅在参与者意识到 CS-US 联结时才会发生。

在无意识恐惧研究中, 将中性刺激作为条件刺激的研究相对较少, 现有结论尚不一致。无意识恐惧研究源于“准备”理论 (preparedness theory) (Seligman, 1970)。该理论认为, 相较于中性刺激, 个体更易于对预示潜在威胁的“准备”刺激 (prepared stimuli), 又称原始恐惧刺激 (如蛇、蜘蛛、恐惧面孔), 产生无意识恐惧条件化 (Esteves et al., 1994; Öhman & Soares, 1994; Siegel et al., 2018); 而非原始恐惧刺激, 个体则无法成功无意识恐惧条件化 (Seligman, 1971)。比如 Öhman (1998) 的研究采用后向掩蔽范式和恐惧条件化范式, 考察了恐惧相关刺激 (以蛇图片为 CS+, 蜘蛛图片为 CS-, 其中 CS+ 和 CS- 在组间平衡) 和中性刺激 (以花图片为 CS+, 蘑菇图片为 CS-, 其中 CS+ 和 CS- 在组间平衡) 作为条件刺激时, 无意识恐惧条件化的差异 (电击作为 US)。结果显示, 恐惧相关刺激组对 CS+ 的皮肤电反应 (skin conductance response, SCR) 水平显著高于 CS-, 而中性刺激组的条件刺激之间无显著差异。在消退阶段, 恐惧相关刺激组对 CS+ 和 CS- 的反应仍然存在显著差异, 而中性刺激组则没有。这表明对恐惧相关刺激形成的恐惧联结更难消退, 即便在不再伴随电击的情况下依然存在。这种“消退抵抗” (resistance to extinction) 进一步支持了准备理论, 提示预设的恐惧倾向导致更持久的恐惧记忆 (Öhman & Soares, 1998), 随后有研究者使用愤怒面孔、快乐面孔作为恐惧相关组刺激, 仍然发现了愤怒面孔作为 CS+ 时, 条件刺激间的 SCR 水平存在显著差异, 而当快乐面孔作为 CS+ 时, 则没有 (Esteves et al., 1994; Öhman & Dimberg, 1978)。然而, 有研究者从生理感知角度出发, 将参与者分为心跳辨别能力强和弱两组 (通过一项单独的实验评估), 结果发现只有心跳辨别能力强的参与者能够在 US 预期评分上区分条件刺激 (Katkin, 1985)。这提示无意识恐惧习得中可能存在尚未明确的关键因素, 然而, 以往研究多采用恐惧相关刺激进行, 中性刺激能否建立无意识恐惧条件化还没有一致的结论 (Åhs et al.,

2018)。本研究将中性刺激作为条件刺激, 进一步探讨无意识恐惧条件化的可能性。

人类日常接触到的刺激都具有特定的意义, 其提取不仅依赖于感知特征 (知觉线索, 如大小、形状、音调等), 也依赖于概念信息 (Dymond et al., 2015; Meulders, 2020)。概念之间可分为分类关系 (taxonomic relationship) 和主题关系 (thematic relationship) 两种 (Landrigan & Mirman, 2017)。分类关系强调事物特征的相似性, 比如麻雀和乌鸦 (Rosch et al., 1976), 主题关系是指物体、事件、人在空间和时间上共存或相互作用的实体之间的外部或互补关系, 比如麻雀和鸟窝。以往的研究在意识条件化后, 探讨了概念关系对不同意识条件下恐惧泛化的影响。比如, 在一项基于概念词汇的意识泛化研究中发现, 分类泛化刺激比主题泛化刺激诱发了更大的 P2 波幅和更高的电击预期评分 (Lei et al., 2020); 然而, 在基于概念关系的无意识恐惧泛化的 ERP 研究中, 没有发现分类、主题泛化刺激在早期加工成分上 (如 N1、P2) 的差异, 但是发现了分类泛化刺激诱发了更大的 LPP 波幅, 说明了无意识条件下, 分类泛化刺激具有更高的恐惧情绪唤醒 (梅颖, 2020)。然而, 前人的研究是基于意识条件化的基础上进行, 现有无意识条件化研究均未系统操纵概念距离变量, 且未考察距离与概念关系类型的交互效应。本研究将在探究无意识条件化的有效性后, 进一步探究概念关系和概念距离对恐惧泛化的影响。

P2 成分通常出现在刺激呈现后约 200ms, 是在枕部和外侧顶叶记录到的正向波。有研究表明, P2 与视觉刺激的自动化注意加工相关。在恐惧泛化研究中, Sperl 等人 (2020) 发现, 与 CS- 和 GS- (safe generalization stimulus, 安全泛化刺激) 相比, CS+ 和 GS+ (threaten generalization stimulus, 威胁泛化刺激) 引起的 P2 振幅增强, 提示威胁性刺激能够自动捕获更多注意资源。此外, Lei 等人 (2020) 关于概念关系类型 (主题关系 vs. 分类关系) 在恐惧泛化中作用的研究发现, 相较于主题概念, 分类概念引发了更高的电击预期评分和更大的 P2 波幅, 提示分类关系可能具有更强的恐惧传递性。研究者认为, 这种差异可能源于认知加工过程的区别: 分

类关系涉及需要额外注意资源的过程，而主题关系则更多关联更高层次的过程（如记忆）（Liu et al., 2019; Maguire et al., 2010）。基于以上研究，本研究旨在探究无意识恐惧习得后概念关系（分类、主题）及概念距离（GS+、GS-）对恐惧泛化的影响。具体假设为：分类概念相较于主题概念将诱发更大的P2波幅；GS+作为威胁性刺激，相较于GS-将捕获更多注意资源，从而诱发更大的P2波幅。

P300（350~700ms）是在中央顶叶和后部头皮电极记录到的正向波，反映了条件刺激的注意资源分配和情感意义的增加，在意识水平的恐惧条件化研究中，前扣带回（anterior cingulate cortex, ACC）通过调节顶叶注意资源分配，使CS+获得情绪显著性，表现为中央顶叶P300增强（Pavlov & Kotchoubey, 2019）。例如，在Rothemund等人（2012）的研究中，发现健康参与者的中央区和顶枕区域上，CS+比CS-诱发了更大的P300波幅。大量的恐惧习得研究为该结论提供了证据（Ferreira de Sá et al., 2018; Sperl et al., 2020; Wang et al., 2022）。尽管无意识恐惧习得与意识恐惧习得在认知加工过程上可能存在差异，但一些研究表明，即使在无意识条件下，情感刺激仍然能够优先获得注意资源（Zhang et al., 2016）。因此，本实验预期，在无意识恐惧习得阶段，个体对CS+会进行持续注意加工、产生更多的恐惧情绪，从而诱发更大的P300波幅。

P600（500~600ms）作为顶枕区分布的晚期正成分，反映了动机性注意资源的分配过程（Vazey et al., 2018）。研究表明，蓝斑（locus coeruleus, LC）通过释放去甲肾上腺素（norepinephrine, NE）增强顶叶皮层同步化，可特异性调节该成分的波幅。在威胁加工情境中，CS+会优先激活蓝斑-去甲肾上腺素系统，促进对潜在威胁的注意偏向（Wilmot et al., 2024）。然而，大部分研究关注的是意识水平的恐惧条件化，蓝斑是否与无意识条件化后的意识威胁加工有关还不清楚，结合蓝斑系统在威胁加工中的作用，两者可能存在关联，因此，本研究将P600的相关假设作为推测性假设提出，本研究假设：随着恐惧条件化的形成，个体对CS+的动机性注意增强，进而增强蓝斑活动，从而诱发相比CS-更大的P600波幅。

综上所述，本研究采用脑电技术首先探究了无意识恐惧习得的有效性；其次，探讨了无意识恐惧习得对基于概念关系（主题、分类）和概念距离（远、近）的恐惧泛化的影响及神经基础。研究采用恐惧条件反射范式，无意识习得阶段为单因素被试内设计，使用麻雀和汽车作为条件刺激。例如，当麻雀为CS+时，其与US电击配对；而汽车作为CS-则从不与电击配对，以考察个体对条件刺激的电击预期评分和P300幅值上的差异。在意识泛化阶段，两种概念关系（主题、分类）和概念距离（远、近）交叉形成四种类型的泛化刺激：如分类近（白鹭）、分类远（企鹅）、主题近（鸟笼）、主题远（大厦）。使用电击预期评分、P2幅值来测量个体对四类泛化刺激在意识水平的恐惧泛化反应，同时，在该阶段呈现了两类条件刺激，使用电击预期评分和P600幅值来测量个体对无意识习得的条件刺激在意识水平下的恐惧反应。

2 研究方法

2.1 被试

使用G*Power 3.1软件对本实验所需样本量进行估计。采用两因素被试内重复测量方差分析，在中等效应量 $f = .25$ ，统计检验力为.80， $\alpha = .05$ 水平下，计算结果表明，需要24名参与者。招募健康大学生32名。剔除意识探测率较高的参与者3名以及脑电伪迹过多参与者2名，最终获得有效参与者27名（年龄： 19.57 ± 1.73 岁；女性：21名）。所有参与者均为右利手，视力或矫正视力正常。

鉴于焦虑个体存在过度恐惧泛化且与抑郁共病的特点，本研究选取非焦虑抑郁个体作为参与者。正式实验前，所有参与者完成了以下问卷：状态-特质焦虑量表（State - Trait Anxiety Inventory; Steyer et al., 1989）和贝克抑郁量表-II（Beck Depression Inventory; Beck et al., 1988）。量表筛选标准为：特质、状态焦虑量表分数小于50，且抑郁分数小于13分（见表1），符合要求的参与者可以参与正式实验，实验前签署知情同意书，实验后获得一定金钱报酬。

2.2 实验材料和工具

2.2.1 条件刺激

选取麻雀、汽车图片各30张，其中15张麻

表 1 人口统计学变量

变量	$M \pm SD$
年龄	19.57 ± 1.73
性别 (女性%)	77.8
特质焦虑量表	48.21 ± 8.99
状态焦虑量表	43.17 ± 9.08
贝克抑郁量表	1.61 ± 6.14

雀、汽车图片作为 CS，CS 在参与者间进行平衡：其中一半参与者以“麻雀”图片作为 CS+，另一半参与者以“汽车”图片作为 CS+，CS+ 图片会以 66.7% 的概率匹配电击 (US)，而 CS- 图片从不匹配 US。另外麻雀、汽车图片各 15 张则作为掩蔽图片。参照前人研究 (Öhman & Soares, 1994)，使用 Adobe Photoshop CC 2019 软件将 CS 图片切分再重组，生成相应的掩蔽图片，所有图片以圆形呈现，

像素大小为 300 × 300 (见图 1)。

2.2.2 泛化刺激

28 名未参与正式实验的参与者对麻雀、汽车相关概念图片各 40 张进行相关性、主题关系及分类关系的 9 点评分 (1 = 完全不相关, 9 = 高度相关)。在主题关系判断任务中，参与者需判断两个概念是否出现在同一个场景并相互作用。在分类关系判断任务中，参与者需评估两个概念在知觉以及功能上



图 1 无意识习得阶段条件刺激和掩蔽刺激材料示例

的相似性。主题材料和分类材料在相关性上没有显著差异，但不同相关程度的材料之间评分差异显著。正式实验中，选取麻雀组分类、主题关系最相关和最不相关各 3 种，汽车组同理，麻雀组、汽车组泛化刺激各 12 种。每种泛化刺激共 5 张不同的图片，比如企鹅(麻雀组分类远刺激)共有 5 张图片。其中，与 CS+ 最相关的刺激作为 GS+，与 CS+ 最不相关的刺激作为 GS-，所选取的 GS 词汇以及相应主题、分类关系评分见表 2。所有图片以圆形呈现，像素大小为 300 × 300。

2.3 实验设计与程序

无意识习得阶段为 2 (刺激类型: CS+、CS-) 水平的单因素被试内设计; 恐惧泛化阶段为 2 (概念关系: 分类、主题) × 2 (概念距离: GS+、GS-) 的两因素被试内设计。无意识习得阶段共包含 2 个组块，每个组块 CS+、CS- 各 15 个试次，共 30 个试次，习得阶段共 60 个试次。泛化阶段共三个组块，每个组块 4 类泛化刺激各 5 个试次，2 类条件刺激各 10 个试次，泛化阶段每种泛化刺激各 15 个试次，共呈现 60 个泛化刺激试次，每种条件刺激各 30 个试次，共呈现 60 个条件刺激试次。

在正式实验前，参与者需先进行电击阈限测量。

表 2 泛化刺激材料

		距离近				距离远	
分类	汽车组	卡丁车	拖拉机	高铁	帆船	小船	游轮
	麻雀组	白鹭	天鹅	喜鹊	企鹅	乌龟	猩猩
	总分 ($M \pm SD$)	7.82 ± 1.89	6.82 ± 2.00	6.39 ± 1.95	1.61 ± 1.57	1.61 ± 1.64	1.46 ± 1.57
主题	汽车组	红绿灯	交通筒	护栏	烤箱	吹风	打印机
	麻雀组	鸟笼	电线杆	鸟蛋	大厦	垃圾箱	雕塑
	总分 ($M \pm SD$)	8.75 ± .52	8.53 ± .84	8.37 ± 1.04	1.75 ± 1.69	1.64 ± 1.64	1.54 ± 1.55

实验刺激通过 E-Prime 2.0 软件呈现，参与者左手腕上贴有 Ag/AgCl 电极片，并连接到多通道电刺激仪（SXC-4A, 北京三侠科技有限公司）。主试随机施加一系列不同强度的电击，要求参与者对每次电击的感受进行 1~10 的主观评分：1 表示没有不愉快/一点也不痛；10 表示非常不愉快/非常痛。最终，将电击强度设定为参与者评分为 7 的值（不舒服但不会疼痛）。

正式实验分为两个阶段：无意识恐惧习得和恐惧泛化阶段。整个实验过程中，参与者眼睛平视屏幕中央，双眼距离电脑屏幕 75cm 左右。

无意识习得阶段，首先在屏幕中央呈现 500ms 的注视点，接着呈现 1000ms 的空屏，空屏结束后，依次快速呈现三张图片刺激：分别是麻雀的掩蔽图片 142ms、麻雀图片 16ms 和再次呈现麻雀掩蔽的图片 142ms（Harris et al., 2011），随后呈现 1700ms 的空屏。空屏结束后，参与者进行电击预期评分（1~9 评分：1 = 一定不会伴随电击，9 = 一定会伴随电击），按键评分结束后，若刺激为 CS+，则立即给予参与者一个 100ms 的短暂电击刺激；若为 CS-，则不伴随电击。最后呈现 3500~4500ms 的试次间隔。无意识习得阶段结束后，对参与者进行意识测量，询问参与者三个问题，分别是（1）“除了马赛克以外你是否有看到其他图片？”其中“1”代表看到了，“3”代表没看到；（2）“在实验中，我感觉中间的图片是_____。”能够明确回答出“车”或“鸟”则记为“1 知道”，即参与者能够察觉到条件刺激；其他答案则记为“2 不知道”；（3）“实验中，我感觉电击之前的图片为_____。”其中“1”代表始终是与麻雀相似

的图片，“2”代表有时是与麻雀相似的图片，“3”代表绝不是与麻雀相似的图片，“4”代表不知道。记录参与者回答。

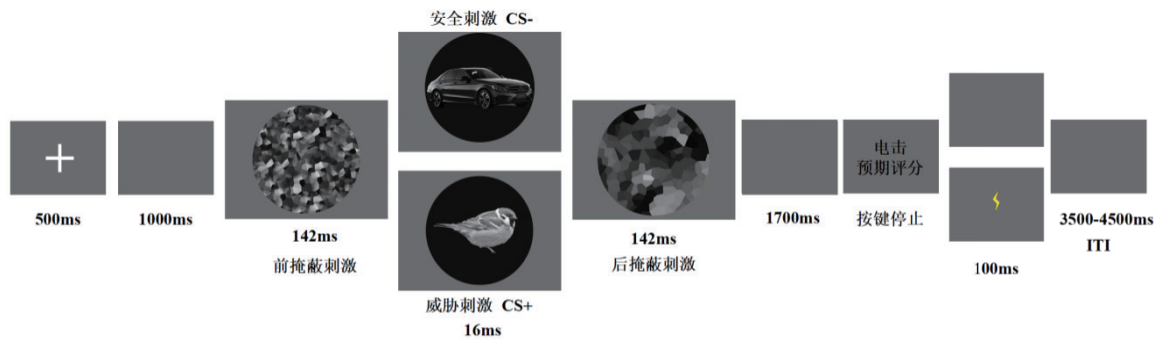
意识泛化阶段，包含四类泛化刺激：分类 GS+、分类 GS-、主题 GS+ 和主题 GS- 和两类习得阶段的 CS+ 和 CS- 刺激。六类刺激以伪随机顺序呈现，该阶段 CS+ 均不匹配电击。泛化阶段中，先在屏幕中央呈现 500ms 的注视点，接着呈现 1000ms 的空屏，然后会呈现 300ms 的泛化刺激，接下来呈现与习得阶段相同的电击预期评分，最后呈现 3500~4500ms 的试次间隔（见图 2）。

2.4 数据记录与分析

2.4.1 脑电数据采集与预处理

脑电数据采用德国 Brain Products 公司生产的脑电记录系统（BrainAmp DC 放大器，采用最新的直流采集模式，Brain Cap 64 导电帽）及其分析系统进行采集，参考电极和接地电极分别是 FCz 和 AFz。脑电采集过程中，记录垂直眼电（VEOG），电极片贴于右眼眶正下方 1cm 处。采样频率为 500Hz/导，头皮阻抗 < 5kΩ。采用 EEGLAB 14.1.1 工具箱在 Matlab 2020a 中对数据进行离线分析。脑电数据进行时域分析：首先，将参考电极由 FCz 转为双侧乳突（TP9、TP10）；然后进行滤波，滤波参数为 .1~30Hz，工频干扰使用带通滤波 49~51Hz 进行去除；接着，采用独立成分分析（independent component analysis, ICA）剔除眨眼和动作伪迹，同时手动剔除较大的肌电、眨眼、心电伪迹等；随后，剔除含有极端值的试次，极端值的剔除标准为 $\pm 100 \mu V$ ；分析时程为目标刺激呈现前 200ms 至刺激呈现后 800ms；后续脑电分析中，基线校正时程使

A 无意识习得阶段



B 意识泛化阶段



图2 单个试次的流程图

用各分析时程内刺激呈现前 200ms 至刺激呈现 0ms 的脑电信号。最后，以实验变量水平为分类标准，将同等条件的脑电数据叠加平均得到总平均图。

2.4.2 统计分析

根据前人文献以及本实验的总平均图以及地形图的观察：在习得阶段确定 P300 时间窗为 380~440ms (CP1、CPz、CP2)；在泛化阶段确定 P2 时间窗为 220~350ms (PO3、POz、PO4) (Vogel & Luck, 2000)；对于泛化阶段的 CS 刺激，确定 P600 时间窗为 500~600ms (PO3、POz、PO4) (Gouvea et al., 2010)。

无意识习得阶段，对条件刺激的电击预期评分以及 P300 成分的平均波幅进行配对样本 t 检验；泛化阶段，对泛化刺激的电击预期评分以及 P2 成分的平均波幅进行 2 (概念关系：分类、主题) \times 2 (概念距离：GS+、GS-) 的重复测量方差分析；泛化阶段呈现的条件刺激的电击预期评分以及 P600 成分的平均波幅进行配对样本 t 检验。所有数据的统计和分析均采用 SPSS 26.0 软件完成。若违反球形假设，则采用 Greenhouse-Geisser 法校正自由度，并报告校正后的 p 值。多重比较采用 Bonferroni 法进行校正，校正后的显著性水平为 $\alpha = .05$ 。报告显著性结果时，使用 $p < .05$ 作为统计显著性阈值。

3 实验结果

3.1 行为结果

3.1.1 无意识水平操作检验

为了检验无意识操作的有效性，本研究记录了参与者的探测率、辨别率和联结意识率。探测率的计算方式为：参与者回答“除了马赛克以外你是否看到其他图片”为“是”的人数占总参与者数的百分比；辨别率的计算方式为参与者回答“在实验中，我感觉中间的图片是 _____。”为“麻雀”或者“汽车”的人数占总参与者数的百分比；联结意识率的计算方式为参与者回答“在实验中，我感觉电击之前的图片是 _____。”为“1”代表始终是与麻雀相似的图片的人数占总参与者数的百分比。该实验排除掉 3 名可以识别出条件刺激的参与者 (见表 3)。因此，可以认为其余参与者都无法意识到条件刺激，本研究的无意识水平的操纵是有效的。

3.1.2 电击预期评分

无意识习得阶段，配对样本 t 检验结果显示，CS+ 的电击预期评分 (5.64 ± 1.21) 显著高于 CS- (4.23 ± 1.92)， $t(26) = 3.12$ ， $p < .01$ ，Cohen's $d = .60$ ，表明参与者在主观上成功习得恐惧 (见图 3A)。

泛化阶段，重复测量方差分析结果显示，概念

表 3 无意识水平操纵结果

问题	回答	n(N=32)	百分比	排除参与者		
				1	2	3
1: 除了马赛克以外你是否 有看到其他图片	1: 是	3	探测率			
	3: 否	29	9.4%	1	1	1
2: “在实验中, 我感觉中 间的图片是“ ”	1: 车、鸟 (CS+)	2	辨别率			
	2: 不知道	30	6.3%	1	1	2
	1: 始终是与麻雀相似的图片	0	联结意识			
3: “实验中, 我感觉电击 之前的图片为 “ ”	2: 有时是与麻雀相似的图片	1				
	3: 从不是与麻雀相似的图片	3	3.1%	2	4	2
	4: 我不知道	28				

关系主效应不显著, $F(1, 26) = 1.49, p > .05$; 概念距离主效应不显著, $F(1, 26) = 3.45, p > .05$; 概念关系和概念距离的交互作用显著, $F(1, 26) = 4.22, p = .05, \eta_p^2 = .14$ 。简单效应分析结果发现: 分类 GS+ (3.89 ± 2.01) 的电击预期评分显著高于分类 GS- (3.31 ± 1.78); 分类 GS+ (3.89 ± 2.01) 的电击预期评分显著高于主题 GS+ (3.37 ± 1.83) (见图 3B)。

泛化阶段, 配对样本 t 检验结果显示, CS+ 的电击预期评分 (4.55 ± 2.50) 显著高于 CS- (3.06 ± 2.15), $t(26) = 3.27, p < .01$, Cohen's $d = -.63$ (见图 3C)。

3.2 ERP 结果

3.2.1 无意识习得阶段

对 P300 进行配对样本 t 检验发现, CS+ ($7.58 \pm 5.80\mu\text{V}$) 诱发的 P300 波幅显著高于 CS- ($6.09 \pm 5.80\mu\text{V}$), $t(26) = 2.09, p < .05$, Cohen's $d = -.40$ (见图 4)。

3.2.2 泛化阶段

对 P2 进行重复测量方差分析发现, 概念关系

主效应显著 $F(1, 26) = 31.21, p < .001, \eta_p^2 = .55$; 概念距离主效应不显著, $F(1, 26) = .004, p > .05$; 概念关系与概念距离的交互作用显著 $F(1, 26) = 5.776, p < .05, \eta_p^2 = .18$ 。简单效应分析结果发现, 分类 GS+ ($6.50 \pm 4.24\mu\text{V}$) 诱发的 P2 成分显著大于主题 GS+ ($3.14 \pm 3.51\mu\text{V}$), 分类概念 GS- ($5.74 \pm 4.45\mu\text{V}$) 诱发的 P2 成分显著大于主题概念 GS- ($3.95 \pm 2.86\mu\text{V}$) (见图 4)。

对 P600 进行配对样本 t 检验发现, CS+ ($4.56 \pm 4.75\mu\text{V}$) 诱发的 P600 波幅显著高于 CS- ($2.64 \pm 3.53\mu\text{V}$), $t(26) = 2.76, p < .05$, Cohen's $d = .32$ (见图 4)。

3.3 相关分析

3.3.1 焦虑抑郁与行为电生理结果相关性

由于焦虑、抑郁和恐惧泛化之间具有密切的关联, 因此采用 Pearson 相关分析来探索焦虑、抑郁水平和电击预期评分 (us expectancy, UE)、P2、P300、P600 成分之间的关系 (见表 4)。结果显示, 在泛化阶段, 抑郁水平与分类 GS- 的电击预期评分

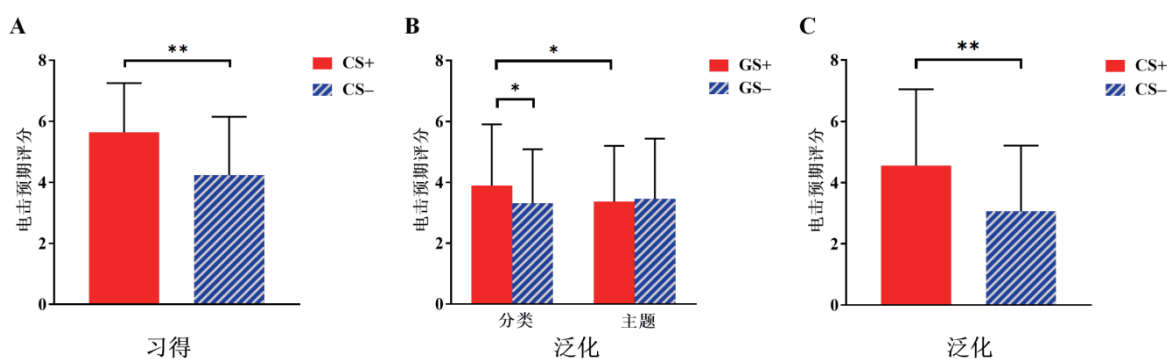


图 3 恐惧习得阶段条件刺激 (A)、恐惧泛化阶段泛化刺激 (B) 以及条件刺激 (C) 电击预期评分

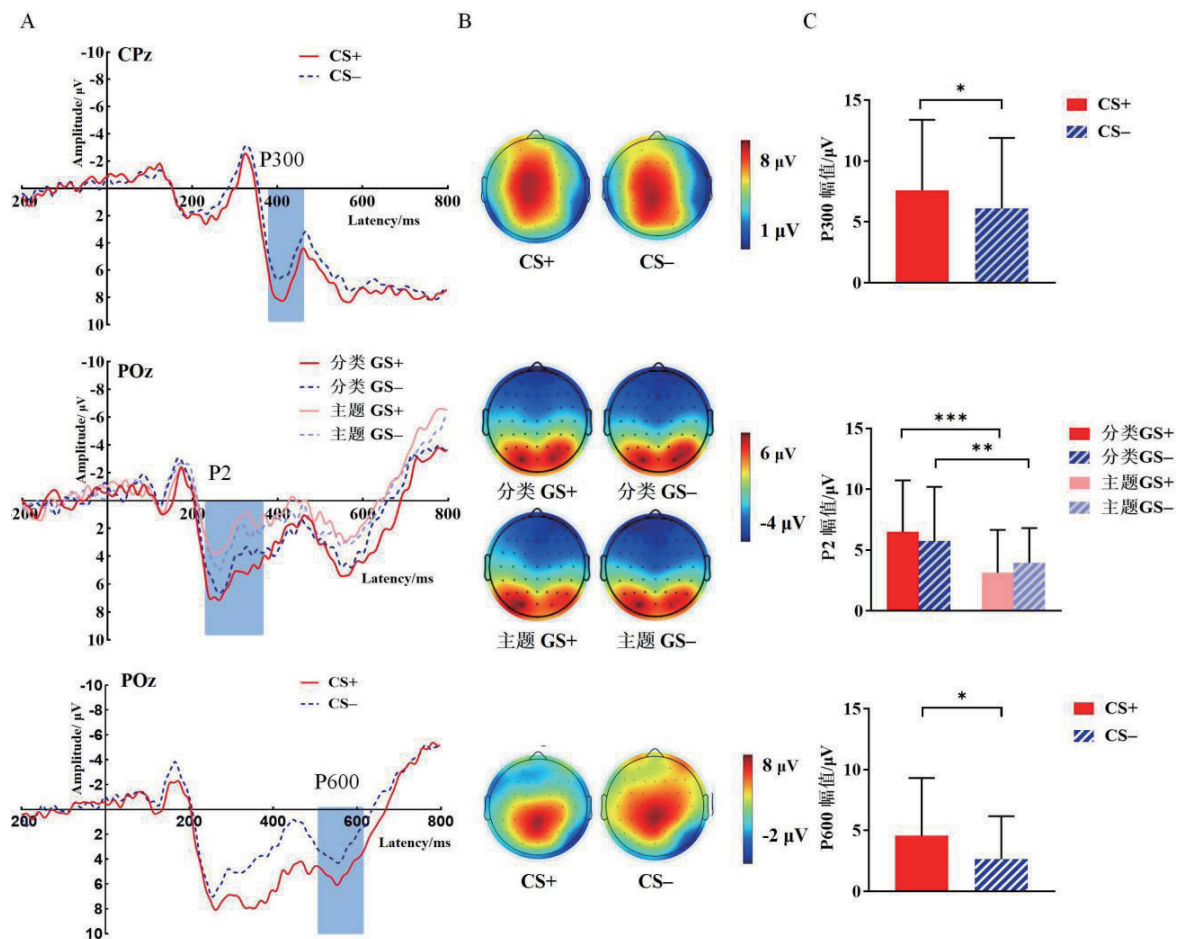


图4 习得阶段CS在P300成分上、泛化阶段GS在P2成分上、泛化阶段CS在P600成分上的(A)地形图、(B)波形图、(C)幅值图

呈显著负相关 ($r = -.392, p < .05$)。该结果表明, 抑郁水平可能影响个体在恐惧泛化过程中的行为表现。然而, 其他变量之间的相关性并不显著。

3.3.2 EEG 结果与行为结果的相关性

采用 Pearson 相关分析来探索 US 预期评分和 P2、P300、P600 之间的关系 (见表 5)。结果显示, 泛化阶段, 主题 GS+ 诱发的 P2 幅值与 US 预期评分之间存在显著正相关 ($r = .432, p < .05$)。然而, 其他变量之间的相关性并不显著。

4 讨论

本研究采用 ERP 技术, 探究了无意识恐惧习得的有效性及其对基于概念关系与概念距离的恐惧泛化的影响及神经机制。无意识习得阶段, CS+ 比 CS- 引起更高的电击预期评分、更大的 P300 波幅; 意识泛化阶段, 分类概念诱发了比主题概念更大的 P2 波幅; 分类 GS+ 诱发的 P2 波幅显著大于主题

GS+、分类 GS- 诱发的 P2 波幅显著大于主题 GS-。意识水平再次呈现条件刺激, 发现 CS+ 比 CS- 诱发了更大的 P600 波幅。这些结果说明, 个体可以在中性刺激作为条件刺激时成功无意识恐惧条件化, 拓展了准备理论仅原始恐惧刺激作为 CS+ 时才能在无意识恐惧习得的观点; 且无意识恐惧习得后, 分类概念比主题概念更具有加工优势; 无意识条件下恐惧习得的保留可能与高级语义加工有关。

4.1 无意识恐惧条件化能够成功建立

无意识习得阶段, 本研究发现 CS+ 比 CS- 具有更高的电击预期评分, 这与先前的研究结果一致 (Schultz & Helmstetter, 2010; Sevenster et al., 2014)。然而, 一项元分析发现, 当参与者未意识到 CS-US 联结时, 不能够无意识恐惧习得 (Mertens & Engelhard, 2020), 但该元分析纳入的 30 项研究中有 18 项使用 US 预期评分作为无意识操作标准 (对条件刺激的 US 预期评分无显著差异才能够被纳入

表 4 焦虑、抑郁水平和行为、EEG 结果相关性分析

皮尔逊相关	SAI	TAI	BDI
SAI			
TAI	.899**		
BDI	.710**	.710**	
UE-CS+(习得)	.282	.253	.077
UE-CS-(习得)	-.12	.151	-.194
UE-分类 GS+	.131	.057	-.256
UE-分类 GS-	-.073	-.101	-.392*
UE-主题 GS+	-.06	-.071	-.341
UE-主题 GS-	.09	.086	-.307
UE-CS+(泛化)	.222	.146	-.372
UE-CS-(泛化)	.07	.077	-.112
P300CS+(习得)	-.038	.002	-.136
P300 CS-(习得)	.062	.141	.034
P600CS+(泛化)	.193	.22	-.058
P600 CS-(泛化)	.136	.205	-.083
P2 分类 GS+	-.006	-.006	-.201
P2 分类 GS-	-.072	-.068	-.222
P2 主题 GS+	.011	.109	-.303
P2 主题 GS-	.004	.097	-.276

表 5 行为和 EEG 结果相关性分析

皮尔逊相关 (UE/EEG)	P300 -CS+	P300 -CS-	P2 - 分类 GS+	P2 - 分类 GS-	P2 - 主题 GS+	P2 - 主题 GS-	P600 -CS+	P600 -CS-
UE-CS+	-.258						.356	
UE-CS-		-.085						.065
UE-分类 GS+			.302					
UE-分类 GS-				.174				
UE-主题 GS+					.432*			
UE-主题 GS-						.306		

注：* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 。

实验），但是 US 预期评分是否可以作为恐惧条件化研究中无意识的操作标准还需要更多的探索。例如，高阶理论（higher-order theory, HOT）表明：一阶网络（涉及视觉皮层、感知觉信息输入）传入的信息被视为无意识表征的信息；当涉及前额叶皮层区域的高阶网络（内侧和岛叶前额叶区域）重新表征这些来自概念、记忆、感知觉信息时，这些信息输入会进入意识范围（Lau et al., 2022）。这意味着

无意识恐惧输入有可能能够在意识条件下被主观体验到。然而，无意识恐惧习得是否表现在 US 预期评分差异上，需要更严谨的实验操作和未来更多的探索。

无意识习得阶段，本研究还发现 CS+ 比 CS- 诱发了更大的 P300 波幅。与以往 P300 成分上的研究相比（Forscher et al., 2016; Howe et al., 2014）。本研究的不同之处在于 P300 振幅在无意识条件化过

程中也发生了显著变化,即使参与者没有意识到条件刺激与无条件刺激之间的关联,P300 振幅仍然表现出差异,这提示 P300 可能反映了早期无意识的刺激评估过程 (Chien et al., 2020),为 P300 作为无意识条件化过程的有效指标提供了进一步的证据 (Winkielman et al., 2005)。P300 成分可能和安全学习具有更大的关联,如有研究表明,P300 对 US 的加工能够预测安全学习是否成功 (Wiemer et al., 2021),安全学习受损是焦虑症的一种病理特征 (Leimeister et al., 2023),之后的研究可以集中在无意识条件下,不同焦虑亚型的个体对条件刺激出现后结果 (US 出现或未出现) 的加工差异上,以寻找能够探索出不同人群中代表条件化建立的电生理指标。

4.2 无意识恐惧条件化后,分类概念相比主题概念更具有加工优势

意识恐惧泛化阶段,在 P2 成分上发现概念关系主效应显著,分类 GS 的 P2 波幅显著高于主题 GS。与先前的研究一致,即主题关系处理和分类关系处理可能是组织语义信息的两个不同且协调的系统 (Xu et al., 2024),个体概念能力的发展有一个由主题关系向分类关系的过渡过程 (Lin & Murphy, 2001)。分类关系更抽象,可能需要额外的抑制或注意过程 (Maguire et al., 2010),需要更多的注意资源和高效的语义网络来泛化词汇的核心特征;主题关系涉及更丰富的上下文信息,需要更少的注意资源 (Lin & Murphy, 2001; Maguire et al., 2010)。这可能是造成分类 GS 的 P2 波幅显著高于主题 GS 的原因,关于 P2 的结果支持并扩展了先前的研究结论。在一项研究中发现,意识恐惧习得后,泛化阶段,分类 GS 比主题 GS 诱发了更大的中央前部 P2 振幅,而本研究 P2 成分的差异在颞枕区,可能是实验材料的不同导致了不同的激活。在前人对情绪词汇加工的 ERP 研究中发现,在额叶和中央顶叶区域,高情绪效价 (负性和正性) 词汇比中性词汇诱发了更大的 P2 振幅 (Pauligk et al., 2019)。而情绪图片的相关脑电研究中,P2 成分的差异则是在颞枕区域 (Li et al., 2017; Schweinberger & Neumann, 2015),同前人研究结果一致,概念图片诱发了颞枕区域的中期成分,如 P2、EPN (Wang et al., 2021),但词汇材

料则主要是在额叶和中央顶叶区域诱发 P2 等正波 (Lei et al., 2019, 2020)。以上结果表明,在无意识恐惧习得后,分类关系比主题关系更具有加工优势,且这种加工优势独立于意识条件。

行为结果与 ERP 结果不一致,P2 成分的概念关系主效应显著,但电击预期评分上差异不显著。根据双系统理论 (dual-system theory),恐惧和焦虑的感觉源于防御行为不同的系统,“恐惧感觉”被视为基于认知功能 (如工作记忆) 的皮层上回路的产物;而皮层下回路控制防御行为和生理反应,其为自动化的并间接影响有意识的恐惧 (LeDoux & Pine, 2016; Mertens et al., 2018)。电击预期评分代表皮层上回路的主观的恐惧感觉,P2 差异源自皮层下回路的自动化的生理反应,存在该差异的原因可能是在无意识条件下习得的恐惧感觉难以在意识层面上泛化,但内隐恐惧,即对恐惧刺激的加工是自动化的,从而在 P2 成分上表现出了差异,这种内隐和外显的不一致在健康受试者中更常见。

分类 GS+ 诱发的 P2 波幅、电击预期评分显著大于主题 GS+,这种内隐和外显的一致性表明无意识恐惧习得后,对分类 GS+ 给予了更多的注意资源;分类 GS- 的 P2 振幅显著大于主题 GS-,在恐惧泛化研究中,P2 与对条件刺激的早期注意有关 (Cisler & Koster, 2010)。上述结果证明,在无意识习得后,无论安全刺激还是威胁刺激,分类关系都具有加工优先性;行为结果表明,分类 GS+ 的电击预期评分显著大于主题 GS-,这一结果也意味着在无意识恐惧习得后,分类威胁刺激在早期威胁泛化中具有加工优势。

在电生理和行为的相关结果分析中,发现主题 GS+ 和电击预期评分之间存在显著正相关;而分类 GS 虽在 P2 波幅和电击预期评分上整体高于主题关系,却未表现出类似的关联。这可能提示,分类与主题关系可能通过不同认知机制驱动恐惧泛化。对于分类关系的 GS 刺激,其 P2 波幅和电击预期评分的增强,可能源于分类层级 (如“麻雀-白鹭”) 的范畴化特征更易触发自动化威胁警觉。虽然早期参与者对所有分类 GS 投入更多注意资源,但因其依赖明确的分类语义网络模型范畴边界 (O' Connor et al., 2009; Rogers et al., 2004),在电击预期评分上

也存在较大的差异，导致电生理与行为反应缺乏一致性。相比之下，主题 GS+（如“麻雀-鸟笼”）通过情境或功能语义联结触发泛化（Estes et al., 2011; Goldwater et al., 2011），其威胁表征与电击预期评分更紧密绑定。这种加工模式使主题 GS+ 能够精准激活与原始 CS+ 相关的情境记忆网络，从而在电生理反应与主观预期期间形成稳定关联。

本研究还发现，泛化阶段，抑郁水平与分类 GS- 的电击预期评分呈显著负相关。关于“快乐”和“接近”相关行为的报告减少是抑郁的一个显著特征（Admon & Pizzagalli, 2015; Keren et al., 2018）。许多研究表明该特征是由奖励处理的异常引起的（Keren et al., 2018），分类 GS- 在健康个体中可能触发安全相关的正性效价，而抑郁患者此类信号的奖赏预期反应钝化，导致对潜在的奖赏刺激（包括安全的泛化刺激）的唤醒度更低，从而降低了他们的 US 预期评分。

以上结果证明了无意识条件化后，基于概念类别恐惧泛化研究的有效性。仅仅是基于强度、大小等感知觉梯度的泛化在临床应用上也较受限制，基于概念的泛化研究更贴近人类自然的解释模型。人类高度发达的关联皮质，具有不同的表征方式，使得缺乏共同感知特征，但是具备概念相似性的刺激上，也具有较强的恐惧传递性（Striedter, 2016）。

4.3 无意识恐惧条件化难以有意识消退

恐惧泛化阶段，在意识条件下再次呈现 CS 时，发现与 CS- 相比，CS+ 引起的 P600 振幅增强。P600 成分与语义加工有关，例如控制蓝斑对显著动机性注意事件的反应。CS+ 的 P600 振幅增强效应可能反映了在无意识恐惧习得后对威胁性刺激的语义处理增加。该结果也表明了条件刺激之间不同的消退效应，即无意识恐惧习得后，威胁性学习比安全学习更难有意识消退，然而，该解释还需要未来更多的研究支撑。

4.4 不足与展望

本研究存在一些不足之处。首先，参与者群体为大学生，其单一性可能导致生态效度有限。无意识恐惧条件化在个体发育的其他时期以及在临床焦虑患者身上表现如何还需进一步验证；第二，概念类刺激过于复杂，可能导致较小的效应无法被观测

到；第三，本研究意识操作检验方式依赖参与者的回溯性报告，方法过于单一，需要考虑更完备的方法。

本研究发现恐惧在分类概念上存在过度泛化，提示临床暴露疗法不仅可以使使用特定的知觉恐惧诱发刺激，还可以使用分类相关刺激，根据概念距离划分为不同等级恐惧反应的恐惧刺激，让患者能够一步步减少恐惧反应（Morey et al., 2020）；其次，本研究发现健康参与者在分类概念刺激上具有更高的恐惧传递反应，也有研究表明幽闭恐惧症患者对知觉线索的恐惧反应大于主题概念线索（Shiban et al., 2016），因此对不同目标人群寻找最合适的临床治疗材料也可以纳入未来研究的考虑范畴。

5 结论

本研究通过后向掩蔽的方法，并结合 ERP 技术深入验证了无意识恐惧习得的有效性。结果发现，无意识恐惧条件化的过程与对 CS+ 的持续注意加工有关；同时发现无意识恐惧习得后，分类关系相比主题关系更具有早期加工优势，能够成功在意识层面泛化；无意识恐惧条件化较难有意识消退，可能是对 CS+ 的语义加工保留了恐惧意义，使其能够在意识层面体现出来。

参考文献

- 梅颖. (2020). 主题关系和分类关系对恐惧泛化的影响 (硕士学位论文). 深圳大学.
- Admon, R., & Pizzagalli, D. A. (2015). Dysfunctional reward processing in depression. *Current Opinion in Psychology*, 4, 114–118.
- Åhs, F., Rosén, J., Kastrati, G., Fredrikson, M., Agren, T., & Lundström, J. N. (2018). Biological preparedness and resistance to extinction of skin conductance responses conditioned to fear relevant animal pictures: A systematic review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 95, 430–437.
- Beck, A. T., Steer, R. A., & Garbin, M. G. (1988). Psychometric properties of the Beck Depression Inventory: Twenty-five years of evaluation. *Clinical Psychology Review*, 8(1), 77–100.
- Carmel, D., Raio, C., Phelps, E., & Carrasco, M. (2011). Fast unconscious fear conditioning. *Journal of Vision*, 11, 314–314.
- Chien, J. H., Colloca, L., Korzeniewska, A., Meeker, T. J., Bienvenu, O. J., Saffer, M. I., & Lenz, F. A. (2020). Behavioral, physiological and eeg activities associated with conditioned fear as sensors for fear and anxiety. *Sensors*, 20(23), 1–24.
- Cisler, J., & Koster, E. (2010). Mechanisms of attentional biases towards threat in anxiety disorders: An integrative review. *Clinical Psychology Review*, 30, 203–216.
- Dymond, S., Dunsmoor, J. E., Vervliet, B., Roche, B., & Hermans, D. (2015). Fear generalization in humans: Systematic review and implications for anxiety

- disorder research. *Behavior Therapy*, 46(5), 561–582.
- Estes, Z., Golonka, S., & Jones, L. L. (2011). Thematic thinking: The apprehension and consequences of thematic relations. In *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 249–294). Elsevier Academic Press.
- Esteves, F., Parra, C., Dimberg, U., & Öhman, A. (1994). Nonconscious associative learning: Pavlovian conditioning of skin conductance responses to masked fear-relevant facial stimuli. *Psychophysiology*, 31(4), 375–385.
- Ferreira de Sá, D., Michael, T., Wilhelm, F., & Peyk, P. (2018). Learning to see the threat: Temporal dynamics of ERPs of motivated attention in fear conditioning. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(2), 189–203.
- Forscher, E. C., Zheng, Y., Ke, Z., Folstein, J., & Li, W. (2016). Decomposing fear perception: A combination of psychophysics and neurometric modeling of fear perception. *Neuropsychologia*, 91, 254–261.
- Goldwater, M. B., Markman, A. B., & Stilwell, C. H. (2011). The empirical case for role-governed categories. *Cognition*, 118(3), 359–376.
- Gouvea, A. C., Phillips, C., Kazanina, N., & Poeppel, D. (2010). The linguistic processes underlying the P60. *Language and Cognitive Processes*, 25(2), 149–188.
- Harris, J. A., Wu, C. T., & Woldorff, M. G. (2011). Sandwich masking eliminates both visual awareness of faces and face-specific brain activity through a feedforward mechanism. *Journal of Vision*, 11(7), 3.
- Hofmann, S. G. (2008). Cognitive processes during fear acquisition and extinction in animals and humans: Implications for exposure therapy of anxiety disorders. *Clinical Psychology Review*, 28(2), 199–210.
- Howe, A. S., Pinto, A., & De Luca, V. (2014). Meta-analysis of P300 wave form in panic disorder. *Experimental Brain Research*, 232(10), 3221–3232.
- Katkin, E. S. (1985). Blood, sweat, and tears: Individual differences in autonomic self-perception. *Psychophysiology*, 22(2), 125–137.
- Keren, H., O' Callaghan, G., Vidal-Ribas, P., Buzzell, G. A., Brotman, M. A., Leibenluft, E., Pan, P. M., Meffert, L., Kaiser, A., Wolke, S., Pine, D. S., & Stringaris, A. (2018). Reward processing in depression: A conceptual and meta-analytic review across fMRI and EEG studies. *American Journal of Psychiatry*, 175(11), 1111–112.
- Landrigan, J. F., & Mirman, D. (2017). The cost of switching between taxonomic and thematic semantics. *Memory and Cognition*, 46(2), 191–203.
- Lau, H., Michel, M., LeDoux, J. E., & Fleming, S. M. (2022). The mnemonic basis of subjective experience. *Nature Reviews Psychology*, 1(8), Article 8.
- LeDoux, J. E., & Pine, D. S. (2016). Using neuroscience to help understand fear and anxiety: A two-system framework. *American Journal of Psychiatry*, 173(11), 1083–1093.
- Lei, Y., Mei, Y., Dai, Y., & Peng, W. (2020). Taxonomic relations evoke more fear than thematic relations after fear conditioning: An EEG study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 167, 107099.
- Lei, Y., Wang, J., Dou, H., Qiu, Y., & Li, H. (2019). Influence of typicality in category-based fear generalization: Diverging evidence from the P2 and N400 effect. *International Journal of Psychophysiology*, 135, 12–20.
- Leimeister, F., Pesquita, A., Jensen, O., Pauli, P., & Wiemer, J. (2023). To remember or not to remember: Neural oscillations and ERPs as predictors of intentional associative fear learning. *International Journal of Psychophysiology*, 193, 112235.
- Li, Y., Senqing, Q., Li, X., Zhang, H., Li, Y., Chen, X., Hou, X., & Hu, W. (2017). The influence of reference choice on event-related potentials elicited by emotional pictures. *The Journal of Psychological Science*, 41, 1310–1317.
- Lin, E. L., & Murphy, G. L. (2001). Thematic relations in adults' concepts. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(1), 3–28.
- Lissek, S., Kaczurkin, A. N., Rabin, S., Geraci, M., Pine, D. S., & Grillon, C. (2014). Generalized anxiety disorder is associated with overgeneralization of classically conditioned fear. *Biological Psychiatry*, 75(11), 909–915.
- Liu, F., Han, J., Zhang, L., & Li, F. (2019). Inductive reasoning differs between taxonomic and thematic contexts: Electrophysiological evidence. *Frontiers in Psychology*, 10, 1702.
- Maguire, M. J., Brier, M. R., & Ferree, T. C. (2010). EEG theta and alpha responses reveal qualitative differences in processing taxonomic versus thematic semantic relationships. *Brain and Language*, 114(1), 16–25.
- Mertens, G., Boddez, Y., Sevenster, D., Engelhard, I. M., & De Houwer, J. (2018). A review on the effects of verbal instructions in human fear conditioning: Empirical findings, theoretical considerations, and future directions. *Biological Psychology*, 137, 49–64.
- Mertens, G., & Engelhard, I. M. (2020). A systematic review and meta-analysis of the evidence for unaware fear conditioning. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 108, 254–268.
- Meulders, A. (2020). Fear in the context of pain: Lessons learned from 100 years of fear conditioning research. *Behaviour Research and Therapy*, 131, 103635.
- Morey, R. A., Haswell, C. C., Stjepanović, D., Dunsmoor, J. E., & LaBar, K. S. (2020). Neural correlates of conceptual-level fear generalization in posttraumatic stress disorder. *Neuropsychopharmacology*, 45(8), 1380–1389.
- Nissen, C., Holz, J., Blechert, J., Feige, B., Riemann, D., Voderholzer, U., & Normann, C. (2010). Learning as a model for neural plasticity in major depression. *Biological Psychiatry*, 68(6), 544–552.
- O' Connor, C., Cree, G., & McRae, K. (2009). Conceptual hierarchies in a flat attractor network: Dynamics of learning and computations. *Cognitive Science*, 33, 665–708.
- Öhman, A., & Dimberg, U. (1978). Facial expressions as conditioned stimuli for electrodermal responses: A case of “preparedness”? *Journal of Personality and Social Psychology*, 36, 1251–1258.
- Öhman, A., & Soares, J. (1994). “Unconscious anxiety”: Phobic responses to masked stimuli. *Journal of Abnormal Psychology*, 103, 231–24.
- Öhman, A., & Soares, J. (1998). Emotional conditioning to masked stimuli: Expectancies for aversive outcomes following nonrecognized fear-relevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127(1), 69–82.
- Pauligk, S., Kotz, S., & Kanske, P. (2019). Differential impact of emotion on semantic processing of abstract and concrete words: ERP and fMRI evidence. *Scientific Reports*, 9, 1–13.
- Pavlov, Y. G., & Kotchoubey, B. (2019). Classical conditioning in oddball paradigm: A comparison between aversive and name conditioning. *Psychophysiology*, 56(7), e1337.
- Rogers, T. T., Lambon Ralph, M. A., Garrard, P., Bozeat, S., McClelland, J. L.,

- Hodges, J. R., & Patterson, K. (2004). Structure and deterioration of semantic memory: A Neuropsychological and computational investigation. *Psychological Review*, 111(1), 205–235.
- Rothmund, Y., Ziegler, S., Hermann, C., Gruesser, S. M., Foell, J., Patrick, C. J., & Flor, H. (2012). Fear conditioning in psychopaths: Event-related potentials and peripheral measures. *Biological Psychology*, 90(1), 50–59.
- Rosch, E., Mervis, C., Gray, W., Johnson, D., & Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382–439.
- Schultz, D. H., & Helmstetter, F. J. (2010). Classical conditioning of autonomic fear responses is independent of contingency awareness. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(4), 495–50.
- Schweinberger, S., & Neumann, M. (2015). Repetition effects in human ERPs to faces. *Cortex*, 80, 141–153.
- Seligman, M. E. (1970). On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*, 77(5), 406–418.
- Seligman, M. E. P. (1971). Phobias and preparedness. *Behavior Therapy*, 2(3), 307–32.
- Sevenster, D., Beckers, T., & Kindt, M. (2014). Fear conditioning of SCR but not the startle reflex requires conscious discrimination of threat and safety. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 32.
- Shiban, Y., Peperkorn, H., Alpers, G. W., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2016). Influence of perceptual cues and conceptual information on the activation and reduction of claustrophobic fear. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 51, 19–26.
- Siegel, P., Warren, R., Jacobson, G., & Merritt, E. (2018). Masking exposure to phobic stimuli reduces fear without inducing electrodermal activity. *Psychophysiology*, 55(5), Article 5.
- Sperl, M., Wroblewski, A., Müller, M., Straube, B., & Mueller, E. (2020). Learning dynamics of electrophysiological brain signals during human fear conditioning. *NeuroImage*, 226, 117569.
- Steyer, R., Majcen, A. M., Schwenkmezger, P., & Buchner, A. (1989). A latent state-trait anxiety model and its application to determine consistency and specificity coefficients. *Anxiety Research*, 1(4), 281–299.
- Striedter, G. F. (2016). Evolution of the hippocampus in reptiles and birds. *Journal of Comparative Neurology*, 524(3), 496–517.
- Vazey, E., Moorman, D., & Aston-Jones, G. (2018). Phasic locus coeruleus activity regulates cortical encoding of salience information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 201803716.
- Vicario, C. M., Nitsche, M. A., Hoysted, I., Yavari, F., Avenanti, A., Salehinejad, M. A., & Felmingham, K. L. (2020). Anodal transcranial direct current stimulation over the ventromedial prefrontal cortex enhances fear extinction in healthy humans: A single blind sham-controlled study. *Brain Stimulation: Basic, Translational, and Clinical Research in Neuromodulation*, 13(2), 489–491.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37(2), 190–203.
- Wang, J., E, M., Wu, Q., Xie, T., Dou, H., & Lei, Y. (2021). Influence of perceptual and conceptual information on fear generalization: A behavioral and event-related potential study. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 21(5), 1054–1065.
- Wang, J., Sun, X., Becker, B., & Lei, Y. (2022). Common and separable behavioral and neural mechanisms underlie the generalization of fear and disgust. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 116, 110519.
- Wiemer, J., Leimeister, F., & Pauli, P. (2021). Subsequent memory effects on event-related potentials in associative fear learning. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(5), 525–536.
- Wilmot, J., Diniz, C., Crestani, A. P., Puhger, K., Roshgadol, J., Tian, L., & Wiltgen, B. (2024). Phasic locus coeruleus activity enhances trace fear conditioning by increasing dopamine release in the hippocampus. *eLife*, 12, RP91465.
- Winkielman, P., Berridge, K. C., & Wilbarger, J. L. (2005). Unconscious affective reactions to masked happy versus angry faces influence consumption behavior and judgments of value. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 31(1), 121–135.
- Wurst, C., Schiele, M. A., Stonawski, S., Weiß, C., Nitschke, F., Hommers, L., Domschke, K., Herrmann, M. J., Pauli, P., Deckert, J., & Menke, A. (2021). Impaired fear learning and extinction, but not generalization, in anxious and non-anxious depression. *Journal of Psychiatric Research*, 135, 294–301.
- Xu, S., Wang, H., Li, S., & Ouyang, G. (2024). Neural manifestation of L2 novel concept acquisition from multi-contexts via both episodic memory and semantic memory systems. *Frontiers in Psychology*, 15, 1320675.
- Zhang, D., He, Z., Chen, Y., & Wei, Z. (2016). Deficits of unconscious emotional processing in patients with major depression: An ERP study. *Journal of Affective Disorders*, 199, 13–2.

Can Non-Consciously Perceived Conditioned Fear be Generalized to Consciously Presented Concept Stimulus?

Zhou Yijia, Gao Caicai, Mei Ying, Lei Yi

(Institute for Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu, 610066)

Abstract Fear is an adaptive emotion that enables organisms to learn to distinguish threatening stimuli in complex natural environments. The "preparedness" theory posits that fear associations can be learned effortlessly, even without the conscious perception of fear-related stimuli. While previous studies have examined whether fear acquisition can be established without contingency awareness, this question remains largely unresolved. Several investigations have employed fear-related stimuli as conditioned stimuli (CS+) to study non-conscious fear acquisition. However, the preparedness theory itself lacks empirical validation, and no consensus exists on whether non-conscious fear acquisition necessarily requires fear-related stimuli. Generalized learning is defined as the retrieval of previously acquired stimulus information when responding to similar yet novel stimuli. Stimuli that humans encounter daily have specific meanings, and their retrieval depends both on conceptual relations and perceptual features. Previous studies mainly used perceptual materials with low ecological validity; therefore, examining the role of conceptual relations in generalization processes is essential for understanding fear overgeneralization in anxiety disorders. Fear can generalize to items that are conceptually linked to an initial fear experience. Concepts are organized either taxonomically through shared categorical features (e.g., fruit) or thematically through contextual associations within events or scenarios (e.g., desk and book). The focus of our study is to examine whether conditioned fear can be acquired by using fear-unrelated stimuli in the absence of awareness, and how different conceptual relations (thematic vs. taxonomic) and conceptual distance (near vs. far) influence subsequent fear generalization.

Twenty-seven healthy participants completed a fear generalization test with concurrent recording of neural activity via event-related potentials (ERPs). Shock expectancy ratings were used to assess the efficacy of non-conscious fear acquisition and examine conceptual generalization processes. The experimental design consisted of two consecutive phases: a non-conscious acquisition phase and a conscious generalization phase. During non-conscious acquisition, visual target stimuli were masked using a sandwich-masking paradigm; each presentation was preceded and followed by masking stimuli, rendering participants unaware of the conditioned stimuli and the CS-US contingency. Specifically, sparrow stimuli were designated as conditioned stimuli (CS+) paired with electric shocks (unconditioned stimulus, US), whereas car stimuli (CS-) remained unpaired. Stimulus assignment was counterbalanced across participants. To develop ecologically valid generalization stimuli (GS) based on conceptual relations, an independent cohort of 28 participants was recruited to complete a rating task. Forty potential stimulus exemplars per category were evaluated for their thematic or taxonomic association strength with the CS+ (sparrow). The three concepts demonstrating the highest and lowest thematic/taxonomic associations with the CS+ were selected as generalization stimuli (GS+ and GS-, respectively), thus yielding four stimulus classes: taxonomic GS+ (e.g., swan), taxonomic GS- (e.g., turtle), thematic GS+ (e.g., birdcage), and thematic GS- (e.g., sculpture).

Behavioral data reveal significantly higher shock expectancy for CS+ relative to CS- during non-conscious acquisition. ERP analyses demonstrate enhanced P300 amplitudes elicited by CS+ compared with CS-. During generalization, taxonomic relations evoke larger P2 components than thematic relations; notably, taxonomic GS+ stimuli produce significantly greater P2 amplitudes than thematic GS+ stimuli. Significantly larger P2 amplitudes are observed for taxonomic GS- relative to thematic GS-. When conditioned stimuli are presented supraliminally during generalization, the CS+ elicits higher shock expectancy and enhanced P600 components compared with the CS-.

These findings indicate that nonconscious fear acquisition can be established using neutral stimuli, thereby challenging the validity of the preparedness theory. Following non-conscious fear acquisition, broader generalization responses are elicited by taxonomic stimuli relative to thematic relations. Enhanced P600 amplitudes to the CS+ may reflect heightened semantic processing of the CS+ post-acquisition, which means non-consciously acquired fear demonstrates resistance to conscious extinction. These results demonstrate that fear acquisition occurs non-consciously with neutral stimuli, challenging preparedness theory, and reveal taxonomic relations drive broader fear generalization, elucidating mechanisms for anxiety interventions.

Key words non-conscious fear acquisition, fear generalization, taxonomic relations, thematic relations, P2, P600, P300