

# 急性应激对工作记忆抑制不同呈现方式的分心信息的影响

——来自多体素模式分析的证据

刘 旻, 王 江, 陈 梦, 胡 莎

贵州师范大学心理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年7月8日; 录用日期: 2022年8月30日; 发布日期: 2022年9月9日

## 摘 要

多体素模式分析通常用于研究典型个体的神经认知处理机制, 它们可用于量化单参与者神经信号中存在的信息。解码方法对于确定应激人群和非应激人群的信息表示方式有何不同也具有潜在价值。故而采用多体素模式分析来探究急性应激对工作记忆抑制不同呈现方式的分心信息的影响。我们在一项工作记忆任务中探究了应激组和对照组ERP的信息内容, 该任务涉及记住显示的一侧记住2、4、(2加2延迟)和(2加2延迟分心)个项目并忽略另一侧。ERP结果显示, 记忆负荷主效应显著,  $F(3, 159) = 12.677, p < 0.001, \eta^2 = 0.196$ 。组别主效应显著,  $F(1, 53) = 5.243, p = 0.026, \eta^2 = 0.092$ , 应激组的波幅值小于控制组的波幅值。记忆负荷和组别之间交互作用不显著,  $F(3, 159) = 0.355, p = 0.232, \eta^2 = 0.027$ 。解码结果显示, 在所有条件下控制组的正确率均显著高于应激组。说明急性应激会对工作记忆抑制不同呈现方式的分心信息有影响。

## 关键词

急性应激, 工作记忆, CDA解码

# Effects of Acute Stress on Working Memory Inhibition of Distracting Information Presented Differently

—Evidence from Multi-Voxel Pattern Analysis

Min Liu, Jiang Wang, Meng Chen, Sha Hu

School of Psychology, Guizhou Normal University, Guiyang Guizhou

Received: Jul. 8<sup>th</sup>, 2022; accepted: Aug. 30<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 9<sup>th</sup>, 2022

文章引用: 刘旻, 王江, 陈梦, 胡莎(2022). 急性应激对工作记忆抑制不同呈现方式的分心信息的影响. *心理学进展* 12(9), 2958-2968. DOI: 10.12677/ap.2022.129355

## Abstract

Multi-voxel pattern analyses are commonly used to study neurocognitive processing mechanisms in typical individuals, and they can be used to quantify the information present in neural signals of a single participant. Decoding methods are also potentially valuable for determining how information is represented differently between stressed and non-stressed people. Therefore, multi-voxel pattern analysis was used to explore the effect of acute stress on working memory inhibition of distracting information presented in different ways. We explored the information content of the stress and control ERP in a working memory task that involved remembering 2, 4, (2 plus 2 delayed) and (2 plus 2 delayed distraction) items and ignore the other side. The ERP results showed that the main effect of memory load was significant,  $F(3, 159) = 12.677, p < 0.001, \eta^2 = 0.196$ . The main effect of group was significant,  $F(1, 53) = 5.243, p = 0.026, \eta^2 = 0.092$ , and the amplitude of the stress group was smaller than that of the control group. The interaction between memory load and groups was not significant,  $F(3, 159) = 0.355, p = 0.232, \eta^2 = 0.027$ . The decoding results showed that the correct rate of the control group was significantly higher than that of the stress group under all conditions. This indicates that acute stress may have an effect on working memory to suppress distracting information presented in different ways.

## Keywords

Acute Stress, Working Memory, CDA Decoding

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

### 1.1. 工作记忆

工作记忆被描述为一种能力有限的系统, 允许对理解、学习和推理等复杂任务所需的信息进行临时存储和操作(Miller, Galanter, & Pribram, 1961)。Baddeley 和 Hitch (1974)进一步证明了这一概念, 提出工作记忆包括语音环路、视觉 - 空间画板和中央执行控制系统三个主要成分(Baddeley, 2003, 2007)。

在工作记忆中, 直接反映工作记忆储存项目数量的成分是对侧延迟活动(contralateral delay activity, CDA), 这是一种在工作记忆任务延迟期间观察到的持续 ERP 信号, 与工作记忆能力的个体差异密切相关(Vogel and Machizawa, 2004; Vogel et al., 2005)。

### 1.2. 急性应激

#### 1.2.1. 急性应激的定义及诱发

急性应激是指当不可预期和不可控制的环境要求超出了有机体的自然调节能力时, 有机体作出的非特异性反应(Koolhaas et al., 2011)。本研究采用马斯特里赫特急性应激测试技术(Maastricht Acute Stress Test, MAST)来诱发应激, 该范式是由 Smeets 和 Cornelisse (2012)结合 TSST 的应激特点(社会评价性威胁, 不可预测性或不可控性)和 SECPT 范式(生理疼痛成分), 提出的由 TSST 中的心算任务和 SECPT 中的浸手任务交替联合操作的 MAST 范式。该范式包括 5 分钟的准备阶段和 10 分钟的应激阶段。被试需要在 10 分钟的时间跨度里完成 5 次 SECPT 和心算任务交替的试次(全程录像), 每次持续时间 60~90 s 不等,

水温保持 2℃ 不变。单次 SECPT 之后进行心算任务(2043 减 17)，时间由计算机控制(至少 45 s)。被试计算错误接受负性反馈并重新开始。

### 1.2.2. 急性应激对工作记忆的影响受到抑制能力和刺激呈现方式的调节

在工作记忆的研究中，分心信息有时在工作记忆编码阶段呈现(与需要记忆的信息同时呈现)，有时则在工作记忆保持阶段呈现，前一种叫编码分心，后一种叫延迟分心(McNab & Dolan, 2014)。工作记忆对两种不同呈现方式的分心信息的抑制可能具有不同的机制，编码分心信息的抑制与纹状体相关(Frank, Loughry, & O'Reilly, 2001; McNab & Dolan, 2014)，延迟分心信息的抑制则与前额叶相关(Bonnefond & Jensen, 2012)。比如，对病人的研究显示(Cools et al., 2010)，当分心信息通过编码分心呈现时，通过操控纹状体的受体活性使纹状体的功能增强，个体对分心信息的抑制能力提升了。这与之前发现的纹状体多巴胺在分心信息过滤中发挥作用的结果一致(McNab & Klingberg, 2008)。单细胞记录研究发现，当分心信息在保持阶段呈现时(即延迟分心)，个体成功抑制分心信息会使前额叶中原本静息的神经元被额外的激活(Artchakov et al., 2009)。类似的，功能成像研究也发现背外侧前额叶参与到工作记忆对延迟分心信息的过滤(Dolcos et al., 2007; Minamoto, Osaka, & Osaka, 2010; Sakai, Rowe, & Passingham, 2002)。急性应激会导致包括多巴胺在内的多种激素的分泌，纹状体和前额叶的多巴胺受体分布不同，对多巴胺的反应也就不同(Arnsten et al., 2015)。因此急性应激对不同呈现方式下的分心信息抑制的影响可能不同。

## 1.3. 多体素模式分析

### 1.3.1. 多体素模式分析的原理

MVPA 技术的核心原理是利用在不同认知状态下由多个体素信号形成的空间模式训练分类器，再用独立的实验数据测试分类器的性能。训练和测试分类器的过程称为模式分析，是机器学习理论中的重要技术，原本用于机器对模式进行识别(雷威等, 2010)。

### 1.3.2. 解码方法在 EEG 数据中的应用

使用解码方法代替标准的单变量 ERP 幅度测量。传统方法考察共性当头皮分布因人而异时，被试的头皮模式会失去力量，而解码方法为每个被试找到最佳头皮模式，并且不受头皮地形个体差异的阻碍。解码方法旨在回答与标准方法不同的问题：与其询问具有已知含义的神经信号是否因组或条件而异，解码方法询问神经信号模式中存在多少信息，以及信息内容在不同条件或组之间有何不同(Hebart and Baker, 2018)。

Foster 采用延迟估计任务和空间变化监测任务对 EEG 数据中的 alpha 波段活动进行解码，成功解码出工作记忆中项目的位置(Foster et al., 2016)。Haynes 的研究对大脑活动的非侵入性测量，可以准确地解码一个人的意识体验。有助于揭示个人经历在人类大脑中的编码方式(Haynes & Rees, 2006)。Haxby 使用功能性磁共振成像来研究人脑中物体视觉通路的功能结构，以测量当被试观看面孔、猫、五类人造物体和无意义的图片时腹侧颞叶皮层的反应模式，并对其解码分析从而在新的样本中可以推断出来他看到的是什么(Haxby et al., 2001)。Miyawaki 通过使用 MVPA 对初级视觉皮层的解码，可以还原出来被试看到的图案(Miyawaki et al., 2008)。Bae 等人采用颜色变化探测任务测量被试对侧延迟活动(CDA)波幅，从 EEG 信号中解码被试看到的哪一侧，预测被试要记住哪一面的能力(Bae et al., 2020)。

## 2. 材料和方法

### 2.1. 被试

本研究需要测量被试的唾液皮质醇浓度，为了避免女性的月经周期对皮质醇浓度造成影响，与绝大

多数应激研究一样,本研究只选取健康成年男性被试。选择 57 名被试(根据(Shields et al., 2017)效应量为 0.2), 年龄 18~35 岁, 参加实验时无生理、心理疾病, 没有使用药物, 参加实验前的 1 个月内没有使用类固醇之类的药物。被试分为 2 组, 控制组 31 人, 应激组 26 人。

## 2.2. 实验设计

本实验采用 2 (组别: 应激组, 控制组)  $\times$  4 (记忆负荷: 2、4、(2 加 2 延迟)和(2 加 2 延迟分心))混合实验设计, 组别作为被试间变量, 记忆负荷作为被试内变量。2、4、(2 加 2 分心)和(2 加 2 延迟分心)分别为同时编码 2 个目标刺激、同时编码 4 个目标刺激、延迟编码两个目标刺激、延迟编码 2 个分心刺激。

## 2.3. 实验材料

红色和蓝色矩形( $1.21^\circ \times 0.64^\circ$ )。每个矩形总是以  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  或  $315^\circ$  的方向呈现。这些矩形呈现在两个虚拟矩形区域内, 每个虚拟矩形内 ( $4^\circ \times 7.6^\circ$ , 距离固定点  $3^\circ$ ) 刺激的呈现方式有四种情况: 同时呈现两个红色矩形, 同时呈现四个红色矩形, 先呈现两个红色矩形, 再呈现两个红色矩形 (延迟编码两个红色), 先呈现两个红色矩形, 再呈现两个蓝色矩形 (延迟编码两个蓝色)。每个矩形之间的距离不小于  $2^\circ$ 。在所有试验的中, 有一半的试验会发生变化, 其中一个红色的矩形的朝向可能会发生变化。

## 2.4. 实验任务

见图 1, 任务开始时在屏幕中央呈现一个箭头 200 ms, 被试需要记住箭头指向的方向, 接着呈现“+” 200~400 ms, 之后出现的记忆阵列, 被试需要记住刚才记住的箭头一侧的红色矩形阵列。接下来会出现两种情况:

1) 同时呈现两个目标刺激, 或者同时呈现四个目标刺激 100 ms, 之后在相同位置会直接出现排列类似的矩形阵列( $\leq 5000$  ms), 判断探测阵列与记忆阵列相比, 是否发生了变化。

2) 先呈现两个目标刺激 100 ms, 接着 500 ms 的空屏之后出现 100 ms 的两个红色(目标刺激)或者两个蓝色(分心刺激), 接着出现的矩形阵列与被试之前所看的所有矩形阵列(记忆阵列 1 和记忆阵列 2)叠加后的阵列排列类似( $\leq 5000$  ms), 其中只有一个红色矩形朝向可能会发生改变。任务保证按键反应及 block 顺序在被试间的平衡。

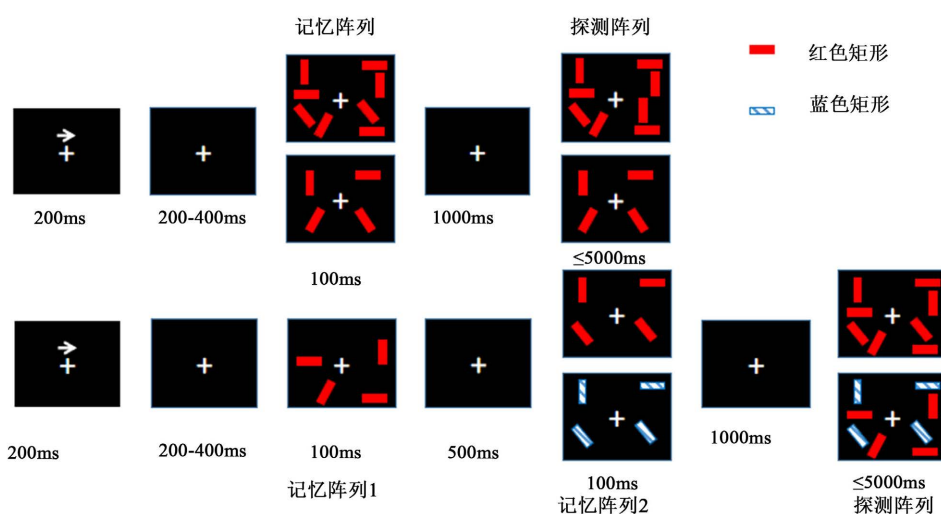


Figure 1. Experimental paradigm  
图 1. 实验范式

实验开始前被试会先进行 60 个 trials 的练习, 每个条件做 15 个 trials, 以确保被试熟悉并且明白实验任务。实验总共分为 8 个 block, 每个 block 有 80 个 trials, 总共 640 个 trials, 每种条件下有 160 个 trials。中间会休息 7 次。每次强制性休息一分钟, 如果被试还没有休息好可以继续休息, 但保证每次的休息时间不低于 1 分钟。

## 2.5. 研究工具

焦虑状态-特质量表(State-trait Anxiety Scale, STAL): 由 Spielberger 于 1977 年编制, 并于 1983 年修订的一种自我评价问卷。由两个分量表, 40 项描述题组成。21~40 题是特质焦虑表(预实验用), 用于评定人们经常的情绪体验。其中 11 项为负性情绪条目, 9 项为正性情绪条目。所有项目采用 1~4 分的 4 级评分法。其各级评分标准为: “1” 表示几乎从来没有; “2” 表示有时有; “3” 表示经常有; “4” 表示几乎总是如此。1~20 题是状态焦虑量表(正式实验用), 包含正性情绪和负性情绪各半, 主要用于评定即刻或者最近的体验和感受。其各级评分标准为“1”表示完全没有; “2”表示有些; “3”表示中等程度; “4”表示非常明显。

正负性情绪量表(Positive and Negative Affect Scale, PANAS): 是由美国南米得狄斯特大学及明尼苏达大学于 1988 年共同编制的, 用于评定个体的正性和负性情绪。由 20 个反应情绪的形容词组成, 包含了正性情绪因子和负性情绪因子。正性情绪由 10 个描述正性情绪的形容词组成, 有较好的同质信度( $p = 0.85$ )和重测信度( $p = 0.47$ ); 负性情绪由 10 个描述负性情绪的形容词组成, 有较好的同质信度( $p = 0.83$ )和重测信度( $p = 0.47$ )。

## 2.6. 实验流程

由于人体的皮质醇水平早晨清醒后最高, 如果没有特殊情况发生, 它会平稳的下降, 在凌晨时分到达一天的最低值(杨娟, 张庆林, 2010)。因此, 为了避免自身皮质醇节律对实验结果的影响, 所有的实验都安排在下午 1 点至 6 点之间进行。实验前三天通过电话与被试联系, 要求他们实验前 72 小时之内不喝酒, 实验前 24 小时之内不抽烟, 实验当天不剧烈运动, 实验前 2 小时内不进食。如图 2, 被试会有 5 次填写量表及皮质醇收集, 完成整个实验时长在 1~1.5 小时左右。

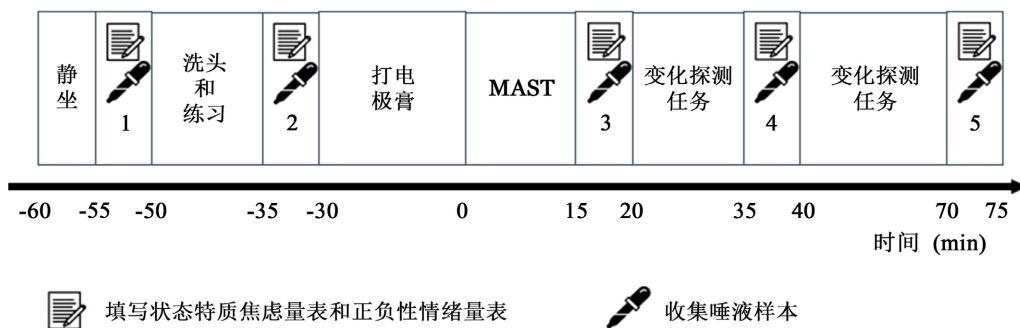


Figure 2. Experimental process  
图 2. 实验流程

## 2.7. 数据记录与分析

### 2.7.1. 脑电数据预处理

选用美国 Neuro Scan 公司生产的 ESI-64 导脑电记录分析系统, 按照国际 10~20 的 64 导电极帽记录 EEG。同时还记录双极水平及垂直眼电信号, 采样的频率为 1000 Hz, 每个电极与头皮之间的阻抗均小于

5 K $\Omega$ 。采用 Matlab (R2020a)、EEGLAB (V14.1.2) (Delorme & Makeig, 2004)、ERPLAB (v7.0.0) (Lopez-Calderon & Luck, 2014)和 Matlab 自定义代码对获得的 EEG 的数据进行离线分析处理。以左右乳突的平均值作为离线参考,对数据进行高通滤波(0.1 Hz, 24 dB/octave)和低通滤波(30 Hz, 48 dB/octave)。以记忆阵列(两个红色,四个红色,两个红色和两个蓝色)出现为标记,刺激呈现前 200 ms 和刺激呈现后 1000 ms 为时间窗,对连续数据进行分段,并选取刺激呈现前 200 ms 的脑电作为基线。对每个受试者的头皮脑电图进行独立成分分析(ICA),以识别和去除与眨眼(Jung et al., 2000)和眼球运动(Drisdelle et al., 2017)相关的成分。分别计算 CDA 幅值并去掉伪迹过多的被试,最终纳入分析的被试有 54 人(控制组: 29 人, 应激组: 25 人)。

### 2.7.2. 问卷及皮质醇数据的记录及分析

采用 SARSTEDT 专门用于采集唾液的合成纤维唾液采集管采集唾液,采集后的唾液样本冷藏在零下 20℃ 的冰箱中。采用电化学发光免疫分析法测定唾液皮质醇浓度。敏感性为 1.5 nmol/L (下限)。对采集到的皮质醇数据,状态焦虑量表,积极、消极情感量表(PANAS)进行 2 (组别: 应激组, 控制组)  $\times$  5 (时间点: 第一次采集, 第二次采集, 第三次采集, 第四次采集, 第五次采集)的重复测量方差分析。

### 2.7.3. 行为数据的记录及分析

本研究采用 Eprime 呈现刺激并收集行为反应数据。采用公式  $K = N \times (HR - FA) / (1 - FA)$  来计算被试的工作记忆容量。其中, K 是工作记忆容量; N 是呈现目标刺激的个数; HR 是击中率,或者是出现变化时反应正确的比例; FA 是误报率,或者是在没有变化的试次中反应错误的比例。再对被试的反应时、正确率和工作记忆容量进行 2 (组别: 应激组, 控制组)  $\times$  4 (记忆负荷: 同时呈现 2 个红色, 同时呈现四个红色, 延迟两个红色, 延迟两个蓝色)的重复测量方差分析。

### 2.7.4. 解码精度分析

统计分析的因变量是每个被试在每个记忆负荷下的平均解码准确度。使用  $4 \times 2$  ANOVA 分析这些值,记忆负荷(2、4、(2 加 2 分心)和(2 加 2 延迟分心))作为被试内因素,组别(应激组, 控制组)作为被试间因素。进行单样本 t 检验,比较每个记忆负荷下应激组和控制组之间的解码精度。

## 2.8. 解码程序

使用支持向量机(SVM)和纠错输出代码(ECOC; Dietterich and Bakiri, 1995)的组合,根据 64 个头皮电极上的平均 ERP 活动的空间模式,对工作记忆中维持的显示器一侧(左与右)进行解码。ECOC 模型通过组合多个二元分类器的结果来解决多类分类问题。对于每个被试,该过程分别针对三个记忆负荷中的每一个进行。来自给定记忆负荷的数据根据给定试验中哪一侧包含要记住的形状分为记住左和记住右试验。并使用 3 折交叉验证程序(Bae & Luck, 2019, 2018)。更具体地说,对于每次迭代,来自每个刺激侧的数据在每个单次试验时期的预定义时间点(600~900 毫秒)内进行平均,然后随机分为三个大小相等的组,每组大约 50 次试验记忆负荷(由于排除了带有伪影的试验,这个数字因被试而异)。然后将每组中的试验平均在一起,为当前记忆负荷的每个刺激侧(4 个平均值  $\times$  2 个刺激侧  $\times$  64 个电极的矩阵)产生单独的头皮分布。通过比较测试数据集中真正要记住的一面的标签和预测的一面的标签来计算解码精度。训练和测试是使用 fitcecoc()和 predict() Matlab 函数。因为是二元分类,故两者概率均为 0.5。

## 3. 结果

### 3.1. 唾液皮质醇结果

唾液时间点之间的主效应显著,  $F(4, 212) = 5.523, p < 0.001, \eta^2 = 0.096$ , 组别之间的主效应不显著,

$F(1, 53) = 1.207, p = 0.277, \eta^2 = 0.023$ , 组别和时间点之间的交互作用显著,  $F(4, 212) = 4.022, p = 0.004, \eta^2 = 0.072$ 。简单效应分析发现, 控制组: 时间点之间不存在显著差异, 应激组: 第二次测量和第三次测量存在边缘显著( $p = 0.052$ ), 第二次测量和第四次测量存在显著差异( $p < 0.001$ ), 第三次测量和第四次测量存在显著差异( $p = 0.008$ )。

### 3.2. 问卷结果分析

#### 3.2.1. 状态焦虑量表得分分析

状态焦虑问卷时间点之间的主效应显著,  $F(4, 212) = 19.629, p = 0.001, \eta^2 = 0.274$ , 随着时间的推移, 两组被试的特质焦虑得分都越来越高。组别之间的主效应不显著,  $F(1, 53) = 2.975, p = 0.091, \eta^2 = 0.054$ 。组别和时间点之间的交互作用显著,  $F(4, 212) = 4.735, p = 0.011, \eta^2 = 0.060$ 。简单效应发现: 只有在第三次测量时, 两组之间才存在显著差异( $p = 0.002$ ), 应激组的得分显著高于控制组的。

#### 3.2.2. 控制组和应激组正性情绪量表得分分析

正性情绪量表时间点之间的主效应显著,  $F(4, 212) = 26.398, p = 0.001, \eta^2 = 0.337$ , 时间越长, 正性情绪量表的得分越低。组别之间的主效应显著,  $F(1, 53) = 4.676, p = 0.035, \eta^2 = 0.082$ , 控制组的正性情绪量表的得分高于应激组的。组别和时间点之间的交互作用不显著,  $F(4, 212) = 1.109, p = 0.353, \eta^2 = 0.021$ 。

#### 3.2.3. 负性情绪量表得分分析

负性情绪量表时间点之间的主效应不显著,  $F(4, 212) = 1.577, p = 0.182, \eta^2 = 0.029$ 。组别之间的主效应不显著,  $F(1, 53) = 0.227, p = 0.636, \eta^2 = 0.004$ 。组别和时间点之间的交互作用不显著,  $F(4, 212) = 0.927, p = 0.449, \eta^2 = 0.018$ 。

### 3.3. 行为结果分析

#### 3.3.1. 正确率分析

记忆负荷主效应显著,  $F(3, 159) = 143.316, p = 0.001, \eta^2 = 0.757$ , 记两个红色的正确率高于延迟两个蓝色, 延迟两个蓝色的正确率高于同时四个红色, 延迟两个红色的正确率是最低的。组别主效应不显著,  $F(1, 53) = 0.015, p = 0.904, \eta^2 = 0$ 。记忆负荷和组别之间交互作用不显著  $F(3, 159) = 0.495, p = 0.686, \eta^2 = 0.009$ 。具体见图 3。

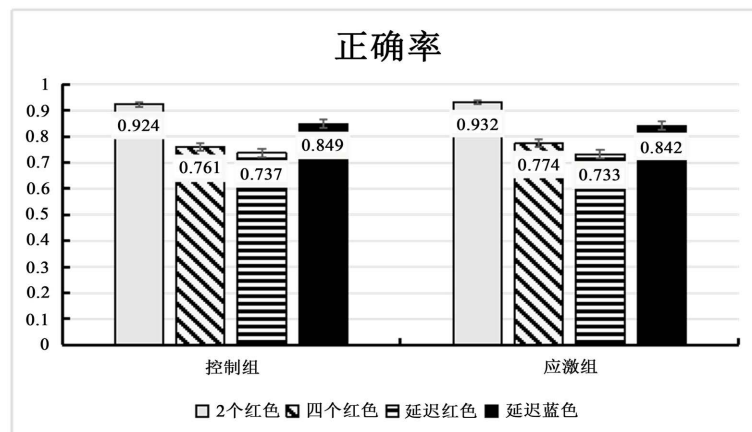


Figure 3. Correct rate of each group  
图 3. 各组正确率

### 3.3.2. 反应时分析

记忆负荷主效应显著,  $F(3, 159) = 128.523$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.712$ , 延迟两个红色的反应时高于延迟两个蓝色, 延迟两个蓝色的反应时高于同时四个红色, 同时两个红色的反应时是最低的。组别主效应显著,  $F(1, 53) = 4.964$ ,  $p = 0.030$ ,  $\eta^2 = 0.087$ , 应激组的反应时高于控制组。记忆负荷和组别之间交互作用显著  $F(3, 159) = 2.833$ ,  $p = 0.040$ ,  $\eta^2 = 0.052$ 。简单效应发现: 在延迟两个红色和延迟两个蓝色条件下, 两组之间差异显著( $p = 0.046$ ,  $p = 0.011$ )。具体见图 4。

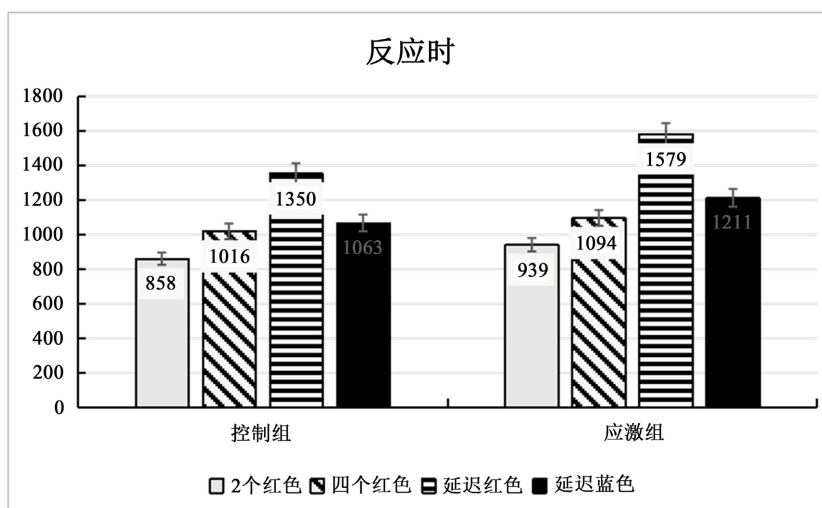


Figure 4. Reaction time of each group

图 4. 各组反应时

### 3.4. CDA 的波幅值分析

在 600\_900 的时间窗内: 对应激组和控制组的 CDA 波幅值进行 2 (组别: 应激组, 控制组)  $\times$  4 (记忆负荷: 同时呈现两个红色, 同时呈现四个红色, 延迟两个红色, 延迟两个蓝色) 的重复测量方差分析。结果发现: 记忆负荷主效应显著,  $F(3, 159) = 12.677$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.196$ , 记忆四个红色的波幅值大于记忆两个红色, 记忆两个红色大于延迟两个蓝色, 记忆延迟两个红色的 CDA 的波幅值是最小的。组别主效应显著,  $F(1, 53) = 5.243$ ,  $p = 0.026$ ,  $\eta^2 = 0.092$ , 应激组的波幅值小于控制组的波幅值。记忆负荷和组别之间交互作用不显著,  $F(3, 159) = 0.355$ ,  $p = 0.232$ ,  $\eta^2 = 0.027$ 。具体见图 5。

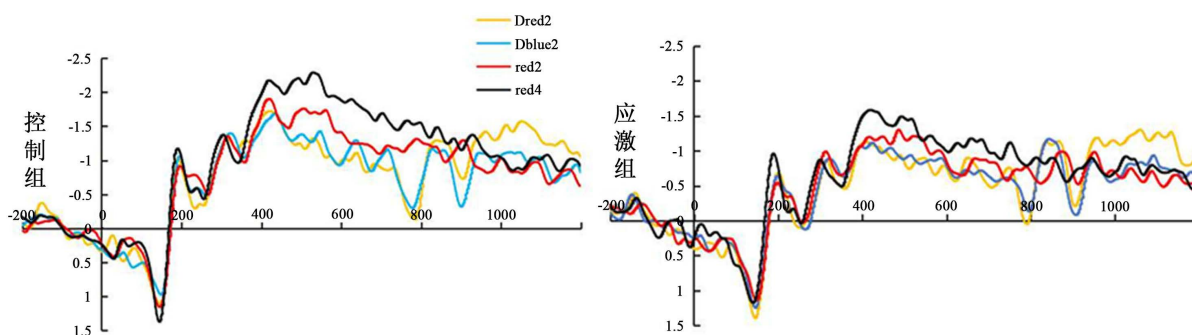


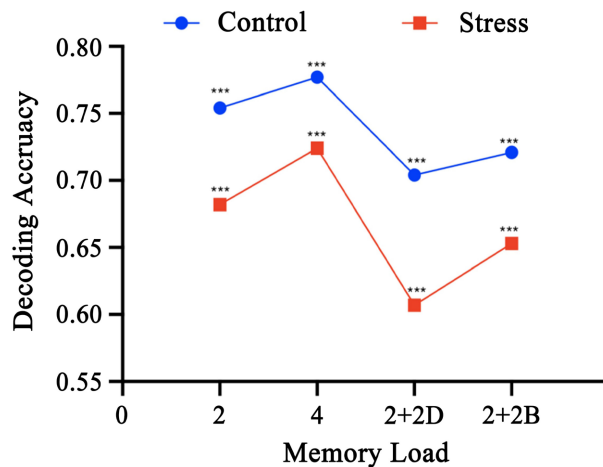
Figure 5. CDA amplitudes in each group (Dred2 and Dblue2 are two target stimuli with delayed encoding and two distracting stimuli with delayed encoding)

图 5. 各组 CDA 波幅(Dred2 和 Dblue2 为延迟编码两个目标刺激、延迟编码 2 个分心刺激)



### 3.5. 解码分析

图 6 显示了两组分别在 4 个记忆负荷下的平均解码精度。在所有负荷条件下控制组的解码正确率都大于应激组。使用单样本  $t$  检验分别对每个组的各个负荷条件下正确率是否显著高于 0.5。结果显示, 对于控制组的所有负荷而言, 平均解码准确率都显著高于 0.5 (同时编码 2 个目标:  $t(28) = 7.481, p < 0.001$ ; 同时编码 4 个目标:  $t(28) = 9.143, p < 0.001$ ; 延迟编码两个目标:  $t(28) = 5.211, p < 0.001$ ; 延迟编码 2 个分心目标:  $t(28) = 6.651, p < 0.001$ )。应激组也是如此(同时编码 2 个目标:  $t(24) = 7.314, p = 0.001$ ; 同时编码 4 个目标:  $t(24) = 9.865, p < 0.001$ ; 延迟编码两个目标:  $t(24) = 3.670, p = 0.001$ ; 延迟编码 2 个分心目标:  $t(24) = 4.811, p < 0.001$ )。



**Figure 6.** Decoding accuracy (2 + 2D and 2 + 2B are delayed encoding of two target stimuli and delayed encoding of two distracting stimuli)

**图 6.** 解码正确率(2 + 2D 和 2 + 2B 为延迟编码两个目标刺激、延迟编码 2 个分心刺激)

为了评估组别和记忆负荷之间的差异, 进行  $4 \times 2$  ANOVA, 其中记忆负荷()作为被试内因素, 组别(控制、应激)作为被试间因素。组别的主效应显著( $F(1, 53) = 10.38, p = 0.001, \eta^2 = 0.48$ ), 记忆负荷的主效应显著( $F(2, 106) = 3.294, p = 0.022, \eta^2 = 0.45$ )。记忆负荷和组之间的交互作用不显著( $F(2, 106) = 0.165, p = 0.92, \eta^2 = 0.002$ )。

## 4. 讨论

本研究的目的是探讨急性应激对于工作记忆中不同呈现方式的信息的影响。因此, 采用 MAST 范式作为应激诱发范式, 以唾液皮质醇作为衡量应激是否有效的生理指标, 以特质状态焦虑问卷(S-AL), 正负性情绪量表(PANAS)作为应激是否有效的心理指标, 变化探测范式作为研究范式, 采用事件相关电位技术, 结合多变量解码方法研究急性对于工作记忆中不同编码方式的信息及增加新项目的信息。

我们发现急性应激对于同时呈现的信息的储存会产生影响, 应激组 CDA 的波幅都会小于控制组 CDA 的波幅。但是当开始呈现延迟信息后, 发现两组被试之间, CDA 的波幅值在同时呈现四个红色和同时呈现两个红色上有显著差异, 而在延迟两个红色和延迟两个蓝色上, CDA 的波幅值并没有显著差异, 这说明应激会影响同时呈现方式的信息。应激都不会影响被试对于不同呈现方式的分心信息的过滤, 因为在同时编码分心信息和延迟编码分心信息使用的是单独的过滤机制(McNab & Dolan, 2014)。工作记忆对两

种不同呈现方式的分心信息的过滤可能具有不同的机制, 编码分心信息的抑制与纹状体相关(Frank et al., 2001; McNab & Dolan, 2014), 延迟分心信息的过滤则与前额叶相关(Bonnefond & Jensen, 2012)。而 MAST 范式产生的应激既不会影响纹状体, 也不会影响前额叶, 因此, 对于分心信息的过滤都不会影响。从解码精度来看, 四种刺激下的控制组精度均显著高于应激组, 说明了急性应激会对工作记忆抑制不同呈现方式的分心信息有影响。

## 5. 结论

急性应激对于同时呈现的信息的储存会产生影响, 应激组 CDA 的波幅都会小于控制组 CDA 的波幅。应激不会影响被试对于不同呈现方式的分心信息的过滤。

## 参考文献

- 雷威, 杨志, 詹旻野, 李红, 翁旭初(2010). 利用脑成像多体素模式分析解码认知的神经表征: 原理和应用. *心理科学进展*, 18(12), 1934-1941.
- 杨娟, 张庆林(2010). 特里尔社会应激测试技术的介绍以及相关研究. *心理科学进展*, 18(4), 699-704.
- Arnsten, A. F. T., Raskind, M. A., Taylor, F. B., & Connor, D. F. (2015). The Effects of Stress Exposure on Prefrontal Cortex: Translating Basic Research into Successful Treatments for Post-Traumatic Stress Disorder. *Neurobiology of Stress*, 1, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2014.10.002>
- Artchakov, D., Tikhonravov, D., Ma, Y., Neuvonen, T., Linnankoski, I., & Carlson, S. (2009). Distracters Impair and Create Working Memory-Related Neuronal Activity in the Prefrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 19, 2680-2689. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp037>
- Baddeley, A. (2003). Working Memory: Looking back and Looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baddeley, A. (2007). *Working Memory, Thought, and Action* (Vol. 45). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528012.001.0001>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Bae, G.-Y., & Luck, S. J. (2018). Dissociable Decoding of Spatial Attention and Working Memory from EEG Oscillations and Sustained Potentials. *The Journal of Neuroscience*, 38, 409-422. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2860-17.2017>
- Bae, G.-Y., & Luck, S. J. (2019). Reactivation of Previous Experiences in a Working Memory Task. *Psychological Science*, 30, 587-595. <https://doi.org/10.1177/0956797619830398>
- Bae, G.-Y., Leonard, C. J., Hahn, B., Gold, J. M., & Luck, S. J. (2020). Assessing the Information Content of ERP Signals in Schizophrenia Using Multivariate Decoding Methods. *NeuroImage: Clinical*, 25, Article ID: 102179. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2020.102179>
- Bonnefond, M., & Jensen, O. (2012). Alpha Oscillations Serve to Protect Working Memory Maintenance against Anticipated Distracters. *Current Biology*, 22, 1969-1974. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.08.029>
- Cools, R., Miyakawa, A., Sheridan, M., & D'Esposito, M. (2010). Enhanced Frontal Function in Parkinson's Disease. *Brain*, 133, 225-233. <https://doi.org/10.1093/brain/awp301>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). Eeglab: An Open Source Toolbox for Analysis of Single-Trial Eeg Dynamics Including Independent Component Analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Dietterich, T. G., & Bakiri, G. (1995). Solving Multiclass Learning Problems via Error-Correcting Output Codes. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2, 263-286. <https://doi.org/10.1613/jair.105>
- Dolcos, F., Miller, B., Kragel, P., Jha, A., & McCarthy, G. (2007). Regional Brain Differences in the Effect of Distraction during the Delay Interval of a Working Memory Task. *Brain Research*, 1152, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.03.059>
- Drisdelle, B. L., Aubin, S., & Jolicoeur, P. (2017). Dealing with Ocular Artifacts on Lateralized ERPs in Studies of Visual-Spatial Attention and Memory: ICA Correction versus Epoch Rejection. *Psychophysiology*, 54, 83-99. <https://doi.org/10.1111/psyp.12675>
- Foster, J. J., Sutterer, D. W., Serences, J. T., Vogel, E. K., & Awh, E. (2016). The Topography of Alpha-Band Activity

- Tracks the Content of Spatial Working Memory. *Journal of Neurophysiology*, 115, 168-177. <https://doi.org/10.1152/jn.00860.2015>
- Frank, M. J., Loughry, B., & O'Reilly, R. C. (2001). Interactions between Frontal Cortex and Basal Ganglia in Working Memory: A Computational Model. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 1, 137-160. <https://doi.org/10.3758/CABN.1.2.137>
- Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini, P. (2001). Distributed and Overlapping Representations of Faces and Objects in Ventral Temporal Cortex. *Science*, 293, 2425-2430. <https://doi.org/10.1126/science.1063736>
- Haynes, J. D., & Rees, G. (2006). Decoding Mental states from Brain Activity in Humans. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 523-534. <https://doi.org/10.1038/nrn1931>
- Hebart, M. N., & Baker, C. I. (2018). Deconstructing Multivariate Decoding for the Study of Brain Function. *Neuroimage*, 180, 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.08.005>
- Jung, T. P., Makeig, S., Westerfield, M., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (2000). Removal of Eye Activity Artifacts from Visual Event-Related Potentials in Normal and Clinical Subjects. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1745-1758. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(00\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(00)00386-2)
- Koolhaas, J. M., Bartolomucci, A., Buwalda, B., Boer, S. F. D., Flügge, G., & Korte, S. M. (2011). Stress Revisited: A Critical Evaluation of the Stress Concept. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35, 1291-1301. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.02.003>
- Lopez-Calderon, J., & Luck, S. J. (2014). ERPLAB: An Open-Source Toolbox for the Analysis of Event-Related Potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article No. 213. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00213>
- McNab, F., & Dolan, R. J. (2014). Dissociating Distractor-Filtering at Encoding and during Maintenance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40, 960-967. <https://doi.org/10.1037/a0036013>
- McNab, F., & Klingberg, T. (2008). Prefrontal Cortex and Basal Ganglia Control Access to Working Memory. *Nature Neuroscience*, 11, 103-107. <https://doi.org/10.1038/nn2024>
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1961). Plans and the Structure of Behavior. *American Journal of Psychology*, 19, 338-340. <https://doi.org/10.2307/3008635>
- Minamoto, T., Osaka, M., & Osaka, N. (2010). Individual Differences in Working Memory Capacity and Distractor Processing: Possible Contribution of Top-Down Inhibitory Control. *Brain Research*, 1335, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.088>
- Miyawaki, Y. et al. (2008). Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity Using a Combination of Multiscale Local Image Decoders. *Neuron*, 60, 915-929. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.11.004>
- Sakai, K., Rowe, J. B., & Passingham, R. E. (2002). Active Maintenance in Prefrontal Area 46 Creates Distractor-Resistant Memory. *Nature Neuroscience*, 5, 479-484. <https://doi.org/10.1038/nn846>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., McCullough, A. M., & Yonelinas, A. P. (2017). The Effects of Acute Stress on Episodic Memory: A Meta-Analysis and Integrative Review. *Psychological Bulletin*, 143, 636-675. <https://doi.org/10.1037/bul0000100>
- Smeets, T., & Cornelisse, S. (2012). Introducing the Maastricht Acute Stress Test (Mast): A Quick and Non-Invasive Approach to Elicit Robust Autonomic and Glucocorticoid Stress Responses. *Psychoneuroendocrinology*, 37, 1998-2008. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.04.012>
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural Activity Predicts Individual Differences in Visual Working Memory Capacity. *Nature*, 428, 748-751. <https://doi.org/10.1038/nature02447>
- Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural Measures Reveal Individual Differences in Controlling access to Working Memory. *Nature*, 438, 500-503. <https://doi.org/10.1038/nature04171>