

慢性应激损害不确定性决策： 损失规避的作用及其神经机制*

沈承春^{1,2} 何清华^{**1}

(¹西南大学心理学部, 重庆, 400715) (²贵州工程应用技术学院, 毕节, 551700)

摘要 慢性应激指个体因长期处于紧张的学习或工作环境而体验到的持续压力状态。不确定性决策作为现实生活中的常见决策形式, 其认知机制复杂且易受应激状态影响。研究通过行为实验, 并结合静息态功能磁共振成像 (rs-fMRI) 技术, 研究发现: 慢性应激主要通过影响腹内侧前额叶 (vmPFC) 和腹侧纹状体 (VS) 的分数低频振幅 (fALFF) 值, 削弱个体的损失规避倾向, 进而损害其不确定性决策能力。研究结果揭示了慢性应激影响不确定性决策的行为特征与神经机制, 为理解应激相关认知障碍提供了新证据, 并为未来干预研究提供了潜在的神经靶点。

关键词 慢性应激 不确定性决策 损失规避 认知机制 脑机制

1 引言

长期职场高压、家庭照护负担及学业竞争等现象构成了生活中常见的慢性应激源。慢性应激 (chronic stress) 指个体在较长时间内持续暴露于应激源所引发的一系列持续性生理和心理反应 (Rom & Reznick, 2016)。与急性应激不同, 慢性应激通常源于长期压力或负担, 对个体的生理和心理健康产生深远影响, 并可能导致多种生理和心理问题的长期存在 (McEwen, 2017), 继而引发包括精神疾病等严重健康后果 (White et al., 2024)。慢性应激的评估主要依赖心理量表, 其中感知压力量表 (perceived stress scale, PSS) 因其简洁性、有效测量主观压力感知、广泛的应用与验证、良好的心理测量学特性以及临床与研究实用性, 成为评估慢性应激条件下个体压力感知的首选工具, 尤其适用于大规模调查和快速临床评估 (Cohen et al., 1983)。

慢性应激不仅损害个体健康, 还可能通过破坏执行功能等认知机制对行为决策产生深远影响 (Corrone et al., 2021)。研究表明, 慢性应激与冒险行为增加及不确定性决策能力受损密切相关 (Mudra Rakshas et al., 2020)。长期以来, 不确定性决策备受研究者关注, 是神经科学、经济学等多学科研究的核心议题 (徐四华, 2019)。此类决策

过程主要特征在于决策者需要在结果概率未知的情境下, 对潜在风险进行评估并预测可能后果, 常用的实验范式包括爱荷华赌博任务 (Iowa gambling task, IGT) 和气球模拟风险任务 (balloon analogue risk task, BART)。

慢性应激对不确定性决策的影响机制主要表现为认知功能受损。其可导致前额叶皮层功能下降, 尤其体现为执行功能和决策等高级认知功能的衰退。动物实验进一步验证了此机制: Dias-Ferreira 等人 (2009) 采用两种不同的操作性任务发现, 慢性应激大鼠在选择时对结果价值的变化变得不敏感, 做出正确决策的能力明显降低。此外, 慢性应激还可能引发神经回路功能失调, 影响认知、决策及情绪调节, 进而改变相关行为 (McEwen, 2017)。例如, 在 BART 和彩票博弈任务中, 高应激水平的青少年相较于低应激群体表现出更显著的冒险倾向 (Buckert et al., 2014; Reynolds et al., 2013)。

尽管已有研究揭示了慢性应激与决策能力的关系, 若干关键问题仍有待深入探究: 不同强度的慢性应激对不确定性决策的影响是否存在差异? 其背后的认知与神经机制是什么? 基于此, 本研究设计了两项实验。实验 1 旨在比较高、低慢性应激群体在决策任务中的风险偏好差异。鉴于风险偏好可能

*本研究得到国家自然科学基金 (31972906)、中央高校基本科研业务费 (SWU2209235) 和西南大学创新研究 2035 先导计划 (SWUPilotPlan006) 的资助。

**通讯作者: 何清华, E-mail: heqinghua@gmail.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20260305

通过损失规避或奖赏敏感性影响不确定性决策行为，本研究假设：相较于低慢性应激群体，高慢性应激群体在不确定性决策中表现更差，且其损失规避敏感性显著降低。实验 2 则通过关联神经影像学数据与行为表现，进一步揭示慢性应激影响决策的神经机制，假设不同强度慢性应激影响决策时存在不同的神经机制。

2 实验 1 慢性应激对不确定性决策的影响：风险偏好的比较

2.1 方法

2.1.1 被试

本研究采用中文版压力知觉量表（Perceived Stress Scale, PSS）筛选 18~26 岁在校大学生（初筛 1100 人， $M = 18.94$ 岁， $SD = .99$ 岁），参照既往研究（喜悦等, 2023）以量表总分中值 42 分为界，将初筛样本划分为高、低慢性应激组。初步分组结果为：高慢性应激组 532 人（男性 189 人，女性 343 人），低慢性应激组 568 人（男性 166 人，女性 402 人）。为确保两组间性别比例一致，以高慢性应激组的性别比例（男：女 $\approx .55 : 1$ ）为标准，通过随机数表法从低应激组女性被试中删除编号靠后的 100 人。最终，低慢性应激组保留 468 人（男性 166 人，女性 302 人）。卡方检验表明，高、低慢性应激组间性别比例无显著差异（ $\chi^2 = .12, p > .05$ ）。所有被试自我报告近期无重大躯体疾病，无脑损伤病史，且在实验前 48 小时内未服用任何药物。被试按批次安排参与实验，同一宿舍、班级或专业者安排在同一批次，以避免测试内容泄露。完成测试后，被试获得相应报酬。本研究程序经过西南大学伦理委员会的审核批准。

2.1.2 测量工具

本研究采用中文版压力知觉量表（PSS）评估被试的慢性应激水平。该量表最初由 Cohen 等人（1983）编制，并由杨廷忠（2003）修订为适用于中国人群的版本。量表共 14 个条目，包含“紧张感”和“失控感”两个维度，采用李克特 5 级评分，总分范围为 14~70 分。中文版量表具有较好的信效度，各条目与总分相关系数在 .37~.53 之间，整体 Cronbach's α 系数为 .83。

本研究采用 Bechara 等人（1994）设计的爱荷华赌博任务（IGT）范式来评估被试的决策行为。任务要求被试从四副标记为 A、B、C、D 的牌组中

进行一系列选择。每副牌组在每次选择时提供即时收益或损失金额反馈，但其长期净收益存在本质差异：A 和 B 牌组长期净收益为负（不利选项），而 C 和 D 牌组长期净收益为正（有利选项）。任务开始时，被试对牌组的收益 / 损失情况并不了解，需要通过反馈逐步学习识别最优策略。以往研究大多采用被试在 100 个试次中选择有利牌组（C 和 D）的次数减去不利牌组（A 和 B）的次数，即 IGT 分数（计算方法为 $C + D - A - B$ ），作为衡量个体决策质量的指标。

2.1.3 IGT 数据建模

为深入解析 IGT 任务中的决策过程并探究行为表现背后的潜在机制，本研究采用预期效价学习模型（prospect valence learning, PVL）对行为数据进行建模分析（Fridberg et al., 2010）。PVL 模型在拟合健康被试 IGT 数据方面展现出良好的事后拟合优度、模拟性能及可推广性（Ahn et al., 2008）。该模型包含以下四个核心参数，分别表征决策者主观价值评估、损失规避倾向、学习更新速率及决策一致性：

形状参数（shape parameter, $\alpha, 0 < \alpha < 1$ ）：该指标通过非线性函数刻画被试对收益的主观效用。当 α 接近 1 时，主观效用与结果值呈线性关系；当 α 接近 0 时，主观效用趋于饱和，即所有收益和损失的主观效用趋于相等。

损失规避参数（loss aversion parameter, $\lambda, 0 < \lambda < 10$ ）：该指标用于量化个体对得失的敏感程度差异。具体而言：①若 λ 值趋近于 0，表明决策者几乎不受损失影响；②当 λ 值为 1 时，损失与收益对决策的权重相当；③当 λ 值超过 1 时，则显示决策者赋予损失更大的心理权重，呈现出典型的损失厌恶特征。

近因参数（recency parameter, $A, 0 < A < 1$ ）：该指标反映学习速率，即被试在给定牌组中对过去经验与近期经验的权重分配。高近因参数表明被试更依赖近期选择的价值，且遗忘速度较快；低近因参数则表明被试更依赖长期经验，遗忘速度较慢。

一致性参数（consistency parameter, c ）：该指标反映被试选择与期望之间的一致性。高一一致性参数表明被试更倾向于选择期望值高的牌组，而且选择也较为确定；低一致性参数则体现了决策结果的随机性，表明被试的决策行为具有冲动性，反映决策者的探索行为或任务倦怠。

2.1.4 实验流程与实验设计

被试到达实验室后,首先在安静环境中静坐休息 10 分钟,期间禁止任何形式的交流。随后,被试在计算机上完成中文版压力知觉量表(PSS)的填写。接着,被试开始进行 IGT 的测试。本研究采用单因素被试间设计,自变量为慢性应激水平,因变量为 IGT 任务表现。IGT 任务数据通过 R 语言(R-4.3.2)进行预处理和计算建模,以提取损失规避(loss aversion)等关键指标。

2.2 结果

表 1 各组的选牌情况统计表

	高慢性应激组 $M(SD)$	低慢性应激组 $M(SD)$	t	p
A 牌组	20.23 (6.20)	19.07 (5.96)	3.01	< .001
B 牌组	34.30 (10.99)	30.89 (10.01)	5.14	< .001
C 牌组	21.84 (6.88)	23.45 (9.18)	-3.15	< .001
D 牌组	23.64 (8.13)	26.60 (9.62)	-5.18	< .001
IGT 分数	-9.05 (20.35)	.09 (21.16)	6.96	< .001

进一步,依据常用 IGT 数据分析方法(Buelow, 2015; Danner et al., 2012; de Ridder et al., 2014; Voth et al., 2014; Wu et al., 2013),本研究将 100 个试次根据实验进程划分为五个区块(block),每个区块包含 20 个试次(trial)。分别计算每个区块的 IGT 分数,并对比高、低慢性应激组的得分差异。独立样本 t 检验结果显示,在区块一(试次 1~20)中,两组被试的决策表现无显著差异($t=1.99, p>.05$)。然而从区块二(试次 2~40)开始,高、低慢性应激组的 IGT 分数均差异显著(区块二: $t=3.78, p<.001$; 区块三: $t=5.21, p<.001$; 区块四: $t=5.35, p<.001$; 区块五: $t=5.52, p<.001$),高慢性应激组的 IGT 分数均显著低于低慢性应激组(见图 1)。

为深入探究 IGT 任务中的具体认知过程,本研究基于预期效价学习模型(PVL)对数据进行了分析(Fridberg et al., 2010)。以模型输出的四个参数

研究发现,高慢性应激组的 IGT 分数显著低于低慢性应激组($t=6.96, p<.001$),详见表 1。依据已有研究(Brand et al., 2005; Lawrence et al., 2009; Stoltenberg & Vandever, 2010),IGT 任务中前 40 个试次主要反映模糊决策,而后 60 个试次则主要反映风险决策。分析显示,无论是在模糊决策阶段,还是风险决策阶段,高、低慢性应激被试的决策表现差异均达到统计学显著水平, $t_{\text{模糊决策}}=3.79, p<.001$; $t_{\text{风险决策}}=6.56, p<.001$ 。

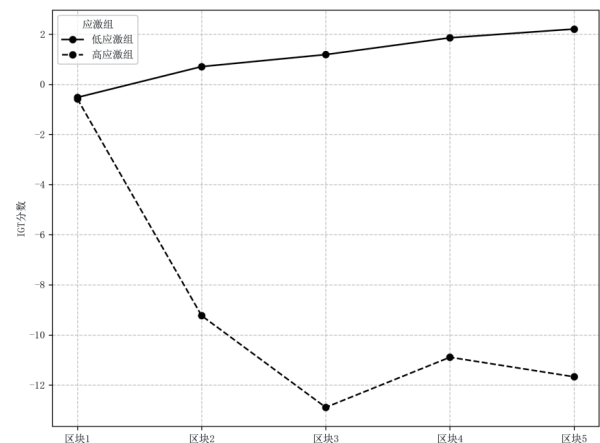


图 1 高、低慢性应激组被试在 IGT 任务中的表现

值为因变量,以高、低慢性应激组为自变量,进行 Mann-Whitney U 非参数检验。结果显示,形状参数(α)、近因参数(A)和一致性参数(c)在两组间均无显著差异,而损失规避参数(λ)在两组间差异显著,高慢性应激组个体的损失规避参数显

表 2 PVL 模型参数在高、低慢性应激组中的对比

	高慢性应激组	低慢性应激组	p
形状参数 (α)	.53	.52	> .05
近因参数 (A)	.67	.71	> .05
损失规避参数 (λ)	2.06	2.53	< .001
一致性参数 (c)	.26	.24	> .05

注:两组数据对比采用曼惠特尼 U 检验。

著低于低慢性应激组，见表2。表2的数据显示，两组被试的平均 λ 值都大于1，说明总体上被试表现出损失规避行为，但高慢性应激组个体对损失的规避不如低慢性应激组，即慢性应激对决策的不利影响主要体现为损失规避的降低。

3 实验2 慢性应激对不确定性决策的影响：静息态脑功能比较

3.1 方法

3.1.1 被试

本研究以在校本科生为研究对象，初始样本年龄范围为18~26岁（ $M = 19.1$ 岁， $SD = .87$ 岁），该样本与研究1的样本互相独立。通过PSS测量慢性应激水平，并根据结果进行分组，为确保两组性别比例均衡，最终纳入340名有效被试参与核心分析。其中，高慢性应激组168人（男女各84人），低慢性应激组172人（男女各86人）。所有被试自我报告近期无重大躯体疾病，无脑损伤病史，且在实验前48小时内未服用任何药物。研究流程与实验1类似，只是完成问卷和行为任务后进行了静息态fMRI扫描。本研究程序经西南大学伦理委员会的审核批准。

3.1.2 fMRI数据获取和分析

所有被试在3T SIEMENS PRISMA扫描仪中完成了8分钟的静息态功能磁共振成像（fMRI）扫描。扫描过程中，要求被试始终睁眼并保持清醒状态，并尽量避免进行任何系统性思维活动。fMRI数据采用多频带梯度回波平面成像序列（multiband accelerated gradient-echo EPI sequence）采集，加速因子为2，共获取240个时间点数据，具体参数如下：重复时间（TR）=2000毫秒，回波时间（TE）=30毫秒，视野（FOV）=224×224毫米²，翻转角（FA）=90°，层数=62，矩阵=112×112，层厚=2.0毫米，层间距因子（Dist. Factor）=15%（即层间距为.3毫米），体素大小=2×2×2毫米³。此外，采用磁化制备快速梯度回波序列（magnetization prepared rapid gradient echo, MPRAGE）获取高分辨率T1加权结构图像，参数如下：TR=2530毫秒，TE=2.98毫秒，FOV=224×256毫米²，分辨率矩阵=448×512，FA=7°，层数=192，层厚=1.0毫米，反转时间=1100毫秒，体素大小=.5×.5×1毫米³。

静息态fMRI数据的预处理基于SPM12软件

和功能性连接工具箱（CONN; Whitfield-Gabrieli & Nieto-Castanon, 2012）。预处理流程包括以下步骤：首先进行切片时间校正和头动校正，随后通过DARTEL方法将图像标准化到MNI152空间（ICBM 2009a非线性对称模板），并重采样至2×2×2毫米³分辨率，最后使用6毫米全宽半高（FWHM）高斯核进行空间平滑。为减少头动和其他噪声的影响，采用Friston 24参数模型（Satterthwaite et al., 2013）回归头动参数信号，并结合aCompCor方法（Behzadi et al., 2007）进一步去除生理噪声和头动伪影。此外，使用FD_Power方法去除由头动引起的异常时间点。最后，对图像进行去线性趋势处理以消除低频漂移。

以往研究表明，静息态fALFF能够反映大脑局部神经元代谢需求，并通过计算低频段（.01~.08 Hz）功率与全频段（0~.25 Hz）功率的比值，有效抑制了高频噪声（如生理伪影）的干扰，慢性应激可能通过改变特定脑区的低频神经活动而调节其决策倾向（Zou et al., 2008）。本研究基于预处理后数据，将每个体素时间序列进行快速傅里叶变换转换得到频域，并计算每个体素的功率谱平方根，然后选取低频范围（.01~.1 Hz）内的平均平方根值作为低频振幅波动ALFF值。分数低频振幅波动（fALFF）被定义为目标频段内的功率谱与整个频段内的功率谱的比值（Jia et al., 2020）。最后，每个个体fALFF图值均被转换为Z分数以得到标准化Z-fALFF用于后续统计分析（见图2）。鉴于腹内侧前额叶（ventromedial prefrontal cortex, vmPFC）与腹侧纹状体（ventral striatum, VS）在决策加工中参与到价值评估与动机形成过程，本研究选取其作为感兴趣区（region of interest, ROI）进行研究。基于以往风险决策相关的神经影像研究（Tom et al., 2007），在MNI标准空间中，分别以坐标（ $x = -4, y = 6.1, z = -1.5$ ）和（ $x = -6, y = 39.3, z = -8.4$ ）为vmPFC和VS的中心，定义3×3×3体素的球形区域。为探究组间差异，提取两处球形ROI的Z-fALFF值，并基于分组进行独立样本t检验以验证组间差异的显著性。

3.2 结果

3.2.1 行为结果

行为结果显示，两组被试在IGT任务表现上存在显著差异（ $t_{338} = -3.89, p < .001$ ），高慢性应激组的IGT得分低于低慢性应激组，与实验1的结果一

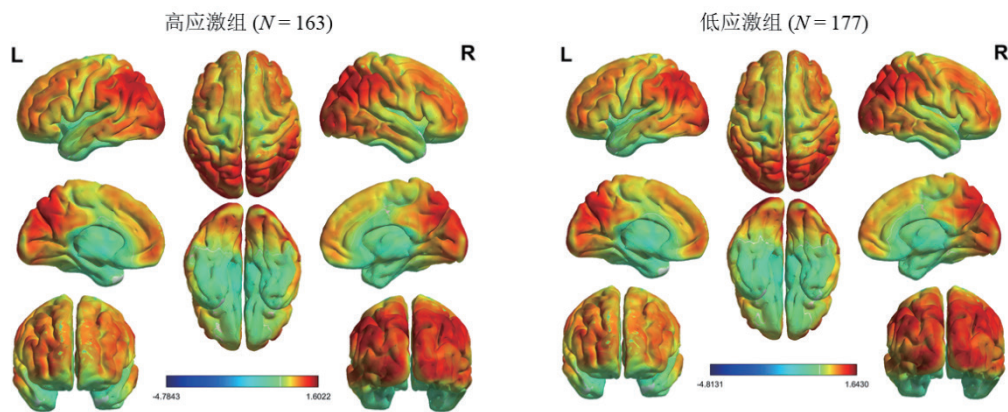


图2 fALFF 组水平 Z 值

表3 实验2中被试在IGT任务中的表现

	高应激组	低应激组	<i>p</i>
形状参数 (α)	.55	.47	>.05
近因参数 (A)	.68	.69	>.05
损失规避参数 (λ)	2.06	2.88	<.001
一致性参数 (c)	.26	.22	>.05

致。基于 IGT 任务的计算建模结果也与实验 1 一致，即形状参数 (α)、近因参数 (A) 和一致性参数 (c) 在两组间均无显著差异，而损失规避参数 (λ) 在两组间差异显著，见表 3。

3.2.2 脑影像结果

脑影像分析结果显示，两组被试在腹内侧前额叶 (vmPFC) 和腹侧纹状体 (VS) 两个感兴趣区 (ROI) 的标准化分数低频波动振幅 (Z-fALFF) 存在显著差异 (表 4)。具体而言，高慢性应激组 vmPFC 的 Z-fALFF 值显著高于低慢性应激组 ($t = 4.16, p < .001$)，而 VS 的 Z-fALFF 值则显著低于低慢性应激组 ($t = -4.18, p < .001$)。腹内侧前额叶通常在情感评估、社会认知及决策制定中起关键作用，而腹侧纹状体 (VS) 则是多巴胺能奖赏系统的核心组成部分，参与动机形成和强化学习。进一步将个体的 PSS 分数与两个脑区的 Z-fALFF 值之间进行相关分析，结果发现 PSS 得分与腹内侧前额叶的静息态 Z-fALFF 值呈显著正相关 ($r = .32, p < .001$)，与腹侧纹状体的静息态 Z-fALFF 值呈显著负相关 ($r = -.29, p < .001$)，见图 2。这些结果表明，慢性

应激水平越高，个体在静息状态下对潜在损失的神经表征越强，而对奖赏信号的神经表征越弱。这种 Z-fALFF 值的改变可能直接导致高应激个体在决策任务中表现出更高的风险厌恶和较低损失规避倾向 (Tom et al., 2007)。

4 讨论

本研究旨在探讨慢性应激对不确定性决策的影响及其神经机制。实验 1 基于大样本 ($n = 1000$) 行为数据，发现高、低慢性应激组在 IGT 任务中的决策表现存在显著差异：高慢性应激个体更倾向于做出更差的决策，表现为 IGT 分数更低，损失规避更弱。为进一步揭示慢性应激影响决策的神经机制，实验 2 结合静息态功能性磁共振成像 (rs-fMRI) 扫描技术，在独立样本中验证了实验 1 的行为结果。脑影像结果发现高慢性应激组 vmPFC 的 Z-fALFF 值显著高于低慢性应激组，而 VS 的 Z-fALFF 值则显著低于低慢性应激组。这些结果从行为、计算建模和脑机制角度揭示了慢性应激影响决策加工的认知及神经机制。

表4 两组个体在两个 ROI 的 Z-fALFF 值比较

位置	x 坐标	y 坐标	z 坐标	<i>t</i>	自由度	显著性	平均值差值	标准误差差值
腹内侧前额叶	-4	6.10	-1.5	4.16	338	<.001	.06	.02
腹侧纹状体	-6	39.30	-8.4	-4.18	338	<.001	-.10	.02

Simonovic 等人 (2018) 一项关于 IGT 的研究发现, 应激阻碍了大脑对不利牌组信息的加工, 使决策者无法进行有效学习, 因而导致不理想的 IGT 表现。有研究发现, 在应激条件下被试总体上更倾向于选择不利牌组, 表现为风险寻求行为增加、IGT 得分降低, 表明应激会损害决策能力导致更多不利选择 (Pighin et al., 2025)。本研究的两个实验结果显示应激组的损失规避 (λ) 显著低于对照组, 说明应激减少了损失对决策的负面影响, 进一步强化了对收益的追求。有研究者认为应激促使个体更关注即时收益 (A 牌和 B 牌), 但可能以牺牲长期利益 (C 牌和 D 牌) 为代价 (Molins et al., 2025)。Ben Hassen 等人 (2023) 也认为应激对决策的损害可能是由于增加了对高奖励选项的吸引力。需要说明的是, 尽管 PVL 模型作为首个针对 IGT 提出的认知计算模型 (Busemeyer et al., 2002) 具有重要的理论价值和实践意义, 但近年来的模型比较研究发现, 其在行为数据拟合方面存在一定局限。具体而言, PVL 的衍生模型 (包括 PVL-Delta、PVL-Decay 和 VPP 模型) 以及 ORL 模型 (outcome-representation learning) 在 IGT 任务中表现出更好的模拟性能 (Zhang et al., 2022)。未来研究应考虑采用这些改进模型以获得更精确的行为表征。

损失规避的概念最初由 Kahneman 和 Tversky (1979) 提出, 他们发现个体对潜在损失的敏感度显著高于对同等价值收益的敏感度 (Tversky & Kahneman, 1991)。通常情况下, 人们都会存在估值偏见, 即对损失的规避往往比对同等收益的渴望更强烈 (Wang et al., 2024)。从进化心理学的角度来看, 损失规避可能源于生存压力: 在资源有限的环境中, 避免损失对个体的生存和繁殖成功至关重要 (Chen et al., 2006; McDermott et al., 2008)。然而, 损失规避行为容易受到情境因素的影响, 例如在极端情绪状态下, 个体的损失规避倾向可能显著降低 (Lerner et al., 2004; Zhang & Fishbach, 2005)。大量研究表明, 应激对损失规避具有显著影响, 但其作用方向存在不一致性 (Chumbley et al., 2014; Porcelli & Delgado, 2009; Putman et al., 2010; Takahashi et al., 2012)。一些研究发现, 急性应激通过上调脑岛、杏仁核等边缘系统的活动, 同时抑制前额叶高级认知控制网络, 导致个体对潜在损失的高度警觉 (Hermans et al., 2014; Margittai et al., 2016; Schwabe et al., 2012)。有研究者指出, 急性应激早期能促

进损失规避, 但后期阶段却让损失规避显著减少 (Molins et al., 2023)。然而, 慢性应激的研究结果却有所不同。例如, Dias-Ferreira 等人 (2009) 发现, 慢性应激导致内侧前额叶皮质和关联纹状体萎缩, 同时感觉运动纹状体肥大, 从而损害了个体的损失规避能力。这一发现与本研究的结论一致, 即慢性应激通过改变 vmPFC 和 VS 的结构与功能, 削弱了个体对损失的识别和回避能力, 进而导致风险偏好的决策行为。此外, 长期暴露于应激环境可能引发大脑结构的持久性改变, 进而影响心理功能 (Lupien et al., 2009)。例如, 慢性应激后海马体的形态变化与学习能力的下降密切相关 (Luine et al., 1994), 这可能进一步削弱个体从经验中学习如何避免损失的能力。

本研究脑影像结果表明, 慢性应激通过对 vmPFC 和 VS 的作用, 削弱了个体对损失的识别和回避能力, 从而导致风险偏好的决策行为。vmPFC 在决策过程中参与价值评估和情绪调节, 其活动增强可能反映高慢性应激个体对潜在奖赏或风险信息加工更为敏感, 进而影响其风险偏好倾向。VS 作为奖赏回路的核心区域, 与动机和奖赏预期密切相关 (van Leeuwen et al., 2019), 其活动降低可能提示高慢性应激个体的奖赏加工功能受损, 这种损伤促使个体通过寻求更高风险的行为来补偿奖赏体验的不足 (Corral-Frias et al., 2015), 从而表现出更高的风险偏好。

本研究的心理学和脑影像结果共同支持了慢性应激对风险偏好的促进作用, 并揭示了 vmPFC 和 VS 可能在这一过程中通过不同的神经机制发挥作用。这些发现为理解慢性应激对决策行为的损害机制提供了新的证据, 并为未来的干预研究提供了潜在的目标脑区。

参考文献

- 喜悦, 张楠, 余莉萍. (2023). 自我感知压力、社会支持对我国肢体残疾运动员心理健康的影响. *沧州师范学院学报*, 39(1), 94-100.
- 徐四华. (2019). 金钱激励在社会排斥影响不确定性决策中的调节作用. *心理学探新*, 39(5), 439-444.
- 杨廷忠, 黄汉腾. (2003). 社会转型中城市居民心理压力的流行病学研究. *中华流行病学杂志*, 24(9), 11-15.
- Ahn, W. Y., Busemeyer, J. R., Wagenmakers, E. J., & Stout, J. C. (2008). Comparison of decision learning models using the generalization criterion method. *Cognitive Science*, 32(8), 1376-1402.
- Ben Hassen, N., Molins, F., Paz, M., & Serrano, M. Á. (2023). Later stages of acute stress impair reinforcement-learning and feedback sensitivity in decision making. *Biological Psychology*, 180, 108585.

- Behzadi, Y., Restom, K., Liau, J., & Liu, T.T. (2007). A component based noise correction method (CompCor) for BOLD and perfusion based fMRI. *NeuroImage*, *37*(1), 90–101.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, *50*(1–3), 7–15.
- Brand, M., Fujiwara, E., Borsutzky, S., Kalbe, E., Kessler, J., & Markovitsch, H. J. (2005). Decision-making deficits of korsakoff patients in a new gambling task with explicit rules: Associations with executive functions. *Neuropsychology Review*, *19*(3), 267–277.
- Buckert, M., Schwieren, C., Kudielka, B. M., & Fiebach, C. J. (2014). Acute stress affects risk taking but not ambiguity aversion. *Frontiers in Neuroscience*, *8*, 1–11.
- Buelow, M. T. (2015). Predicting performance on the Columbia Card Task: Effects of personality characteristics, mood, and executive functions. *Assessment*, *22*(2), 178–187.
- Busemeyer, J., & Stout, J. (2002). A contribution of cognitive decision models to clinical assessment: Decomposing performance on the Bechara gambling task. *Psychological Assessment*, *14*(3), 253–262.
- Chen, M. K., Lakshminarayanan, V., & Santos, L. R. (2006). How basic are behavioral biases? Evidence from capuchin monkey trading behavior. *Journal of Political Economy*, *114*(3), 517–537.
- Chumbley, J. R., Krajchich, I., Engelmann, J. B., Russell, E., Van Uum, S., Koren, G., & Fehr, E. (2014). Endogenous cortisol predicts decreased loss aversion in young men. *Psychological Science*, *25*(11), 2102–2105.
- Cohen, S., Kamarck, T., & Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, *24*(4), 385–396.
- Corral-Frías, N. S., Nikolova, Y. S., Michalski, L. J., Baranger, D. A., Hariri, A. R., & Bogdan, R. (2015). Stress-related anhedonia is associated with ventral striatum reactivity to reward and transdiagnostic psychiatric symptomatology. *Psychological Medicine*, *45*(12), 2605–2617.
- Corrone, M., Nanev, A., Amato, I., Bicknell, R., Wundersitz, D. W. T., van den Buuse, M., & Wright, B. J. (2021). Brain-derived neurotrophic factor val66met is a strong predictor of decision making and attention performance on the CONVIRT virtual reality cognitive battery. *Neuroscience*, *455*, 19–29.
- Danner, U. N., Ouwehand, C., van Haastert, N. L., Hornsveid, H., & de Ridder, D. T. (2012). Decision-making impairments in women with binge eating disorder in comparison with obese and normal weight women. *European Eating Disorders Review*, *20*(1), e56–e62.
- de Ridder, D., Kroese, F., Adriaanse, M., & Evers, C. (2014). Always gamble on an empty stomach: Hunger is associated with advantageous decision making. *PLoS ONE*, *9*(10), e111081.
- Dias-Ferreira, E., Sousa, J. C., Melo, I., Morgado, P., Mesquita, A. R., Cerqueira, J. J., & Sousa, N. (2009). Chronic stress causes frontostriatal reorganization and affects decision-making. *Science*, *325*(5940), 621–625.
- Fridberg, D. J., Queller, S., Ahn, W. Y., Kim, W., Bishara, A. J., Busemeyer, J. R., Porrino, L., & Stout, J. C. (2010). Cognitive mechanisms underlying risky decision-making in chronic cannabis users. *Journal of Mathematical Psychology*, *54*(1), 28–38.
- Hermans, E. J., Henckens, M. J., Joëls, M., & Fernández, G. (2014). Dynamic adaptation of large-scale brain networks in response to acute stressors. *Trends in Neurosciences*, *37*(6), 304–314.
- Jia, X. Z., Sun, J. W., Ji, G. J., Liao, W., Lv, Y. T., Wang, J., Wang, Z., Zhang, H., Liu, D. Q., & Zang, Y. F. (2020). Percent amplitude of fluctuation: A simple measure for resting-state fMRI signal at single voxel level. *PLoS ONE*, *15*(1), e0227021.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, *47*(2), 263–291.
- Lawrence, N. S., Jollant, F., O'Daly, O., Zelaya, F., & Phillips, M. L. (2009). Distinct roles of prefrontal cortical subregions in the Iowa gambling task. *Cerebral Cortex*, *19*(5), 1134–1143.
- Lerner, J. S., Small, D. A., & Loewenstein, G. (2004). Heart strings and purse strings: Carryover effects of emotions on economic decisions. *Psychological Science*, *15*(5), 337–341.
- Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., & Heim C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, *10*, 434–445.
- Luine, V., Villegas, M., Martinez, C. & McEwen, B. S. (1994). Repeated stress causes reversible impairments of spatial memory performance. *Brain Research*, *639*, 167–170.
- Margittai, Z., Nave, G., Strombach, T., van Wingerden, M., Schwabe, L., & Kalenscher, T. (2016). Exogenous cortisol causes a shift from deliberative to intuitive thinking. *Psychoneuroendocrinology*, *64*, 131–135.
- McDermott, R., Fowler, J.H., & Smirnov, O. (2008). On the evolutionary origin of prospect theory preferences. *Journal of Political Economy*, *70*(2), 335–350.
- McEwen B. S. (2017). Neurobiological and systemic effects of chronic stress. *Chronic stress*, *1*, 2470547017692328.
- Molins, F., Hassen, N. B., Paz, M., Costa, R., & Serrano, M. A. (2023). Logical decisions after a psychosocial stressor: The late phase of acute stress reduces loss aversion. *Physiology and Behavior*, *268*, 114232.
- Molins, F., Hassen, N. B., & Serrano, M. A. (2025). Late acute stress effects on decision-making: The magnified attraction to immediate gains in the Iowa gambling task. *Behavioural Brain Research*, *476*, 115279.
- Mudra Rakshasa, A., & Tong, M. T. (2020). Making "Good" choices: Social isolation in Mice exacerbates the effects of chronic stress on decision making. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *14*, 81.
- Pighin, S., Fornasiero, A., Testoni, M., Bogani, A., Bonini, N., Pellegrini, B., Schena, F., & Savadori, L. (2025). Stress awareness and decision-making under uncertainty: Gender-specific effects of mild hypoxia in the Iowa Gambling Task. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, *23*, 1–14.
- Porcelli, A. J. & Delgado, M. R. (2009). Acute stress modulates risk taking in financial decision making. *Psychological Science*, *20*, 278–283.
- Putman, P., Antypa, N., Crysovergi, P., & van der Does, W. (2010). Exogenous cortisol acutely influences motivated decision making in healthy young men. *Psychopharmacology* *208*, 257–263.
- Reynolds, E. K., Schreiber, W. M., Geisel, K., MacPherson, L., Ernst, M., & Lejuez, C. W. (2013). Influence of social stress on risk-taking behavior in adolescents. *Journal of Anxiety Disorders*, *27*(3), 272–277.
- Rom, O., & Reznick, A. Z. (2016). The stress reaction: A historical perspective. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, *905*, 1–4.
- Satterthwaite, T. D., Elliott, M. A., Gerraty, R. T., Ruparel, K., Loughhead, J., Calkins, M. E., & Wolf, D. H. (2013). An improved framework for confound regression and filtering for control of motion artifact in the preprocessing of resting-state functional connectivity data. *NeuroImage*, *1*(64), 240–256.
- Schwabe, L., Joëls, M., Roozendaal, B., Wolf, O. T., & Oitzl, M. S. (2012). Stress effects on memory: An update and integration. *Neuroscience and*

- Biobehavioral Reviews*, 36(7), 1740–1749.
- Simonovic, B., Stupple, E. J. N., Gale, M., & Sheffield, D. (2018). Performance under stress: An eye-tracking investigation of the Iowa Gambling Task (IGT). *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, Article 217.
- Stoltenberg, S. F., & Vandever, J. M. (2010). Gender moderates the association between 5-HTTLPR and decision-making under ambiguity but not under risk. *Neuropharmacology*, 58(2), 423–428.
- Takahashi, H., Fujie, S., Camerer, C., Arakawa, R., Takano, H., Kodaka, F., & Suhara, T. (2012). Norepinephrine in the brain is associated with aversion to financial loss. *Molecular Psychiatry* 18(1), 3–4.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1991). Loss aversion in riskless choice: A reference-dependent model. *Quarterly Journal of Economics*, 106(4), 1039–1061.
- Tom, S. M., Fox, C. R., Trepel, C., & Poldrack, R. A. (2007). The neural basis of loss aversion in decision-making under risk. *Science*, 315, 515–518.
- van Leeuwen, J. M. C., Vink, M., Joëls, M., Kahn, R. S., Hermans, E. J., & Vinkers, C. H. (2019). Increased responses of the reward circuitry to positive task feedback following acute stress in healthy controls but not in siblings of schizophrenia patients. *NeuroImage*, 184, 547–554.
- Voth, E. M., Claes, L., Georgiadou, E., Selle, J., Trotske, P., Brand, M., & Müller, A. (2014). Reactive and regulative temperament in patients with compulsive buying and non-clinical controls measured by self-report and performance-based tasks. *Comprehensive Psychiatry*, 55(7), 1505–1512.
- Wang, R., Wang, X., Platt, M. L., & Sheng, F. (2024). Decomposing loss aversion from a single neural signal. *Science*, 27(7), 110153.
- White, A. G., Elias, E., Orozco, A., Robinson, S. A., & Manners, M. T. (2024). Chronic stress-induced neuroinflammation: Relevance of rodent models to human disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5085.
- Whitfield-Gabrieli, S., & Nieto-Castanon, A. (2012). Conn: A functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connect*, 2(3), 125–141.
- Wu, M., Giel, K. E., Skunde, M., Schag, K., Rudofsky, G., de Zwaan, & Friederich, H. C. (2013). Inhibitory control and decision making under risk in bulimia nervosa and binge-eating disorder. *International Journal of Eating Disorders*, 46(7), 721–728.
- Zhang, L., Vashisht, H., Nethra, A., Slattery, B., & Ward, T. (2022). Differences in learning and persistency characterizing behavior in chronic pain for the Iowa gambling task: Web-based laboratory-in-the-field study. *Journal of Medical Internet Research*, 24(4), e26307.
- Zhang, Y., & Fishbach, A. (2005). The role of anticipated emotions in the endowment effect. *Journal of Consumer Psychology*, 15(4), 316–324.
- Zou, Q. H., Zhu, C. Z., Yang, Y., Zuo, X. N., Long, X. Y., Cao, Q. J., Wang, Y. F., & Zang, Y. F. (2008). An improved approach to detection of amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF) for resting-state fMRI: Fractional ALFF. *Journal of Neuroscience Methods*, 172(1), 137–141.

The Effects of Chronic Stress on Decision Making: Behavioral and Neural Bases

Shen Chengchun^{1,2}, He Qinghua¹

(¹ Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing, 400715)

(² Guizhou University of Engineering Science, Bijie, 551700)

Abstract Chronic stress refers to the sense of tension and loss of control that individuals experience when exposed to stressful learning and overloaded work for a long period of time. It affects not only individual health but also cognitive mechanisms, impairs executive function and autonomous activities, and increases risk-taking behavior. Stress and decision making are both common psychological processes in life, and there are numerous studies on the relationship between them, but most of them are induced acute stress in the laboratory. However, chronic stress is the closest experience to people's real life and the most natural type of stress. Due to the difficulty of inducing chronic stress, it is not easily controlled as an independent variable and is rarely seen in research. Chronic stress can change the cognitive and emotional regulation mode of individuals, thereby affecting decision-making behavior. The mechanism of its influence is an urgent mystery. This study can provide a new theoretical framework and research ideas for neuroscience by thoroughly examining the mechanisms that chronic stress affects decision making. This helps us better understand how brain responds to chronic stress and provides a foundation for future research.

In this study, two laboratory experiments were set up in college students. Experiment 1, the first phase of the experiment, used a large sample to measure chronic stress using the Perceived Stress Scale (PSS), after which the college students were asked to do decision-making tasks. After balancing the gender variables, the subjects were divided into two groups according to their PSS scores. The data of 1,000 college students who met the requirements of the experiment were collected and used to analyze the differences in decision performance. To further explore the neural mechanism of chronic stress on decision making, experiment 2 was set up. Experiment 2 repeated the procedure of Experiment 1, with the only difference that Experiment 2 added post-task functional magnetic resonance imaging (fMRI) for resting state brain scanning. It should be noted that although experiment 2 is a second-stage study, the subjects of experiment 1 are not the same group of college students. All subjects were exposed to IGT test content for the first time, and took a 10-minute rest after arriving at the laboratory, during which no communication was allowed. Then the PSS measurement was completed on the computer, and after the test, the IGT test was completed by resting at the original position for 10 minutes, and finally the fMRI scan was performed for 8 minutes. During the scan, the subjects were instructed to keep their eyes open and stay awake, and not to think about anything.

Experiment 1 showed that there were differences in IGT between subjects with high and low stress levels. The group with high chronic stress was prone to making more risky decisions. fMRI resting state scanning was performed in experiment 2, and the behavioral results were consistent with experiment 1. That is, chronic stress was proportional to risk propensity and inversely proportional to loss avoidance ability. In experiment 2, whole brain analysis showed that vmPFC and VS were more active, and the significance level was .001. This result proves the control effect of vmPFC and VS on loss avoidance. Further data analysis found that chronic stress affects loss avoidance in individuals by altering resting state function of the brain, primarily in the ventromedial prefrontal (vmPFC) and ventral striatum (VS) regions, leading to dysregulation of decision making.

This study reveals that chronic stress negatively affects loss avoidance in individuals by altering the resting state function of the brain, primarily in the ventromedial prefrontal and ventral striatum (VS) regions, leading to the emergence of dysdecision-making. Under the influence of the ventromedial prefrontal and ventral striatum (VS) regions, individuals were more likely to avoid losses than pursue possible gains when faced with a decision. This tendency can lead to irrational and unstable decisions, making individuals more vulnerable to potential risks and negative outcomes.

Key words chronic stress, loss avoidance, risk appetite, make decisions, brain mechanism