

急性应激：诱发范式、测量指标及效果分析*

段海军 王雪微 王博韬 王彤星 张心如 王子娟 胡卫平

(陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室, 西安 710062)

摘要 近年来应激研究正逐步成为多学科共同关注的前沿领域。应激诱发范式多样, 诱发效果不一致, 研究结论无法比较, 是目前实验室应激研究面临的最主要问题。本文从快/慢反应通道激活、唾液皮质醇浓度变化, 以及脑区激活等方面比较了不同范式的诱发效果。生理性诱发范式更早引起 SNS 的兴奋, 主要激活脑干区域; 心理性诱发范式有效引起 HPA 轴的兴奋, 激活前额叶皮层和边缘系统; 复合型诱发范式有效引起双通道激活。从联合快慢反应通道检测指标的思路制定应激研究的评估框架, 既有利于实现不同范式之间的横向比较, 也能够揭示个体应激反应中两系统协同作用的动态平衡机制。

关键词 急性应激; 诱发范式; 皮质醇

分类号 B845

1 引言

应激(stress)是有机体受到真实或潜在威胁刺激时所表现出来的全身性非特异性反应。近年来, 有关应激研究的文献逐年增加, 成为生物学、心理学和认知神经科学等多学科共同关注的前沿领域。应激对有机体的生理、心理与行为活动均有着极大的调节作用。一方面, 应激能促使有机体在面对紧迫与危险情境时快速有效地重新分配生理和心理资源, 从而提高适应和生存能力(罗跃嘉, 林婉君, 吴健辉, 秦绍正, 2013); 另一方面, 应激又可能对注意、记忆信息提取, 以及决策等认知过程造成负性的阻碍作用(Hermans, Henckens, Joëls, & Fernández, 2014)。

按照产生与持续时间的不同, 个体的应激活动可分为急性应激(acute stress)和慢性应激(chronic stress)。与慢性应激相比, 急性应激时间更短、强度更高, 同时也更有利于在实验室条件下进行客观化操作。通过实验室诱发应激状态来

考察急性应激机制是目前应激研究最重要的一条路径, 而能否有效激发被试的应激状态就成为了应激研究的关键。因此, 应激诱发范式对于个体应激反应的研究具有重要的方法学意义。但由于应激诱发范式的多样性, 目前实验室应激研究面临的最主要问题在于无法对各实验取得的研究结果进行统一的比较与整合(Schlotz, 2013)。因此, 从生理快慢反应系统和脑区的激活模式, 以及唾液皮质醇浓度的变化来比较不同应激范式的诱发效果, 不仅对进一步深化应激研究具有重要的价值, 也对研究者选择应激诱发方式具有借鉴意义。

2 测量急性应激的生理性指标

面对应激源时, 机体正常有序的内稳态迅速失衡, 并伴随着一系列非特异性的生理反应, 主要体现为交感神经系统(Sympathetic Nervous System, SNS)和下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴(Hypothalamic Pituitary Adrenal, HPA)的共同激活, 即存在快反应系统和慢反应系统两个通道。

具体来说, 快反应系统(SNS)首先会激活中枢神经系统中应激体验相关的杏仁核, 并通过下丘脑迅速激活肾上腺髓质, 进而释放儿茶酚胺(肾上腺素和去甲肾上腺素), 从而引起外周神经系统中交感神经的兴奋。具体表现为心率、血压、皮肤电水平的升高(Villarejo, Zapirain, & Zorrilla,

收稿日期: 2016-11-02

* 教育部人文社会科学研究一般项目(16YJC190004), 国家自然科学基金项目(31470977), 陕西师范大学人文社会科学学术帮扶基金项目。

王雪微和段海军同为第一作者。

通讯作者: 段海军, E-mail: duanhj@126.com

2012)、瞳孔的增大, 以及唾液中 α 淀粉酶(Salivary Alpha Amylase, sAA)浓度的升高, 加快机体代谢分解, 为对应激刺激储备能量; 与此同时, 慢反应系统(HPA)的激活使下丘脑向血液中释放促肾上腺皮质激素释放激素(Corticotropin-Releasing Hormone, CRH), 进而使垂体前叶分泌促肾上腺皮质激素(Adrenocorticotrophic Hormone, ACTH), 最终导致肾上腺皮质释放出大量的糖皮质激素(Glucocorticoids, GC), 主要是皮质醇(Cortisol)。详见图 1。

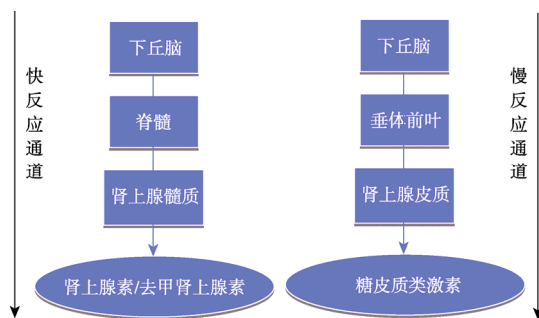


图 1 应激反应的双通道模型(Günzel, 2014)

应激反应的双通道模型为从激素水平的改变来评估应激状态提供了生理学依据。目前, 主要有两类指标。一类是对有机体内部激素浓度水平变化的探查, 如: 唾液 α 淀粉酶(Nater & Rohleder, 2009; Thoma, Kirschbaum, Wolf, & Rohleder, 2012)、唾液皮质醇(salivary cortisol, sC) (Foley & Kirschbaum, 2010; Kirschbaum & Hellhammer, 1989)、血液皮质醇(Hawn, Paul, Thomas, Miller, & Amstadter, 2014; Kirschbaum & Hellhammer, 2000), 以及血液肾上腺素浓度水平(Esler et al., 2004)等; 另一类是除激素水平变化外, 其他生理指标的改变, 如: 心率(Kudielka, Schommer, Hellhammer, & Kirschbaum, 2004)、血压(Schwabe, Höffken, Tegenthoff, & Wolf, 2013)、瞳孔大小(Ren et al., 2014), 和白细胞计数的改变(Bierhaus et al., 2003)等。

3 急性应激的诱发范式

按照应激刺激的来源, 可分为由单一应激源(生理或心理)所介导的急性应激反应和由生理和心理应激源复合介导的急性应激反应。

3.1 生理性应激诱发范式

生理性应激诱发范式主要是通过打破有机体

原有的生理平衡状态(例如, 体温, 疼痛)来激发应激反应。常见的范式有肢体末端冷加压技术(Cold Pressor Test, CPT)和肘腕部冷加压技术(Cold Pressor Arm Wrap, CPAW)等。

3.1.1 CPT 范式

作为一种被最早使用的急性应激诱发范式, CPT 主要通过生理刺激改变被试稳定的生理状态, 从而激发被试应激反应(Ishizuka, Hillier, & Beversdorf, 2007)。具体做法是将应激组被试优势手浸入冰水(4℃) 2 分钟, 而控制组被试优势手浸放在与体表温度无明显差别的温水(25℃) 2 分钟。CPT 能够有效激活有机体 SNS 轴系统, 具体表现为皮肤电增加(Buchanan, Tranel, & Adolphs, 2006)和血压升高(al'Absi, Petersen, & Wittmers, 2002), 但也有研究表明, 该方法只能部分激活与应激活动相关的慢反应 HPA 轴系统(al'Absi et al., 2002; Gluck, Geliebter, Hung, & Yahav, 2004), 甚至完全没有激活(Duncko, Cornwell, Cui, Merikangas, & Grillon, 2007; McRae et al., 2006)。

3.1.2 CPAW 范式

由于 CPT 引发的应激效果不强, 同时优势手无法进行实验任务, 因此, 研究者从增加应激刺激强度与改变身体接触部位的思路出发, 提出了 CPAW 范式(Porcelli, 2014)。

CPAW 范式的具体操作流程是将冰水装入腕带, 直接佩戴于个体体表接触面积较大且动脉血流丰富的肘腕部, 以达到迅速降低个体体温的目的。实验表明, CPAW 能够同时激活 HPA 和 SNS 轴(Porcelli, Lewis, & Delgado, 2012)。CPAW 的优点是可以直接佩戴在前臂和手腕上, 方便拆卸, 有利于个体进行实验操作。因此, 适用于神经影像学技术的应激研究。但需要特别指出的是, CPAW 使用前需要排除荨麻疹、雷诺氏病、动脉瘤、怀孕、心血管病史、糖尿病、慢性风湿疾病和原发性血压异常的人群。另外, 目前使用 CPAW 的研究成果相对较少, 未来研究需要从多维指标进一步验证该范式的应激激活效果。

3.2 心理性应激诱发范式

心理性应激诱发范式主要是通过操纵心理任务施加压力来诱发个体的应激反应。常见的范式有: 情绪片段诱发技术、特里尔压力测试(The Trier Social Stress Test, TSST)、蒙特利尔压力测试(Montreal Imaging Stress Task, MIST), 以及歌唱

压力测试 (Sing a Song Stress Test, SSST)等。

3.2.1 情绪片段诱发技术

在 Guillén Fernández 团队的系列研究中, 通过播放情绪视频片段的方式来诱发被试的应激体验(Hermans et al., 2011)。具体做法是: 应激组被试观看一系列包括身体和性侵犯等内容的暴力电影片段(Irréversible, 2002, by Gaspar Noé)。控制组被试观看中性的、无唤醒度的电影片段(j'ai tué mon père, 2001, by Anne Fontaine)。研究结果表明, 观看情绪片段能够有效激活被试的 SNS 和 HPA 轴(Kelly, Tyrka, Anderson, Price, & Carpenter, 2008), 但也有研究显示, 情绪片段诱发技术在唾液皮质醇、心率(张禹, 罗禹, 孙丽娟, 赵守盈, 李红, 2015; van Marle, Hermans, Qin, & Fernández, 2009)等生理指标上的增长量并不理想。

3.2.2 TSST 范式

TSST 是由特里尔大学的 Kirschbaum 教授设计的心理应激测试手段(Kirschbaum, Pirke, & Hellhammer, 1993)。作为实验室诱发急性应激的经典技术, 已经在全球范围内开展了超过 4000 次的研讨会(Kudielka, Hellhammer, Kirschbaum, 2007)。首次接受 TSST 任务时, 有 70%~80%的被试在皮质醇、ACTH, 以及心血管反应等指标上均有显著提高。

标准的 TSST 包括自由演讲(free speech/public speech)和心算(arithmetic task/mental arithmetic)两个任务。首先, 被试要在竞聘面试情景下完成 5 分钟的自由演讲, 向评委陈述自己竞聘该岗位的优势。被试的言语和非言语表现被全程录像。如果自由演讲不足 5 分钟, 评委依据事先准备好的标准问题进行提问。之后完成心算任务(如: 从 2023 开始, 依次减去 17), 要求做到既快又准确。当计算错误时, 评委打断被试, 从 2023 重新开始。实验过程中, 所有评委成员保持中立、冷漠, 不做任何言语和非言语的评价反馈。

根据被试群体的年龄、数量等特征, 发展出了 TSST 的不同版本。改进的 TSST 范式在采集次数(Taylor et al., 2008)和任务时间上有所改变(Pabst, Brand, & Wolf, 2013)。

(1) TSST 儿童版(TSST for Children, TSST-C)。TSST-C 更适应儿童的年龄特点和认知发展水平(Buske-Kirschbaum et al., 2007), 适用于 14 岁以下儿童。标准流程包括自由演讲和心算任务两部分。

演讲任务要求儿童讲故事或对不合理的事情作出解释; 口算任务与儿童年龄发展阶段相匹配, 如 10 岁以下儿童的任务从 758 开始依次减去 7。

(2) TSST 修改版(TSST Modified protocol, TSST-M)。由于 TSST-C 皮质醇的诱发效果并不稳定, 为了寻求具有更具普适性的应激诱发方式, Yim 等人提出了 TSST-M 范式(Yim, Quas, Cahill, & Hayakawa, 2010)。具体过程是要求被试想象自己在一个新班级里介绍自己(公开演讲), 谈论自己的个性、并分别讲述一件自己做过的好事和坏事。之后完成 4 分钟的心算任务(Quas, Yim, Rush, & Sumaroka, 2012; Yim, Quas, Rush, Granger, & Skoluda, 2015)。

(3) TSST 团体版(TSST for Groups, TSST-G)。是 TSST 的团体版本, 适用于团体任务。6 名被试并排就座进行模拟求职面试(2 分钟), 之后完成心算任务(Von Dawans, Kirschbaum, & Heinrichs, 2011)。

(4) TSST-VR (Virtual Reality version of TSST)。TSST-VR 通过虚拟现实模拟 TSST 范式下类似的应激情境。Jönsson 等人(2010)运用虚拟现实头盔将被试沉浸于虚拟的应激情境, 结果发现, 与中性条件相比, 被试皮质醇和心率显著增加。但结果仅局限在心率的评估(如高频心率变化)。以往研究也有其他类似的虚拟情境创设: 要求被试通过闭路电视向观众演说自己的工作梦想, 告知被试路人会通过闭路电视转播电视屏幕观看演讲的整个过程。TSST-VR 解决了传统 TSST 范式下人力成本耗费大的问题, 但由于被试可能怀疑虚拟情境的可信性, 因此皮质醇浓度的增加没有传统 TSST 范式下的水平高(Hawn et al., 2014)。

3.2.3 MIST 范式

由于 fMRI 条件下的应激研究范式缺乏对社会评价性威胁(Social-Evaluative Threat)、不可控性(Uncontrollability)等关键特征的设定, Dedovic 等人在 TSST 的基础上, 设计了 MIST 范式(Dedovic et al., 2005)。该任务主要是心算任务。实验包括训练和正式实验两个阶段。实验阶段被试的心算任务难度和时间限制均超出了个人的心理能力。尤其是心算时间比训练阶段的平均时间减少 10%。MIST 包括 3 个条件: 实验条件, 休息条件和控制条件。实验条件下通过计算机的负面反馈增加被试的应激效果。整个实验过程持续记

录被试的反应时和正确率。单次心算任务完成后立即出现结果反馈(正确、错误、超时)。连续答对 3 个, 限制时间继续减少; 连续答错 3 个, 限制时间增加。同时, 屏幕呈现两个成绩指标(被试个人成绩和他人成绩), 以及任务剩余时间, 以增加被试的应激效果。休息条件无任何操作任务。控制条件下被试接受心算任务, 但无时间限制和成绩反馈(无社会评价性威胁)。有研究表明, MIST 条件下唾液皮质醇含量比控制和休息条件下的含量显著增加, 并表现出明显的应激体验(Dedovic et al., 2005)。

3.2.4 SSST 范式

近年来, 出现了一些新兴的应激诱发范式, 如 SSST 测试。具体操作如下: 实验前不给被试任何指导语。实验开始后, 要求被试默读显示器上呈现的一系列中性词(如桌子)。当最后一个信息出现时进入 60 秒倒计时, 要求被试在倒计时结束后大声唱歌。结果发现, 在唱歌提醒信息出现后倒计时的 1 分钟内, 被试心率和皮肤电持续高于中性刺激呈现后的水平(Brouwer & Hogervorst, 2014)。Jenderny (2015)的研究结果也表明, 与一般认知任务相比, 要求被试随即进行歌唱任务能显著提高心率与皮肤电, 效果相当于 TSST 刺激后 10 分钟内的升高水平。

总之, SSST 范式操作简便、可控, 但存在由感官输入和肢体动作所带来的干扰效应。

3.3 复合型应激诱发范式

复合型应激诱发范式主要采用生理任务和心理任务相结合的方式诱发应激状态。主要有: 社会评价冷加压技术(Socially Evaluated Pressor Cold Test, SEPCT)、马斯特里赫特急性应激测试技术(Maastricht Acute Stress Test, MAST), 以及曼海姆多元压力测试技术(Mannheim Multicomponent Stress Test, MMST)等。

3.3.1 SECPT 范式

基于 CPT 任务的缺点, Schwabe, Haddad 和 Schachinger (2008)提出了 SECPT (Socially Evaluated Pressor Cold Test, SEPCT)范式。具体操作过程如下: 应激组被试首先需要在摄像机记录表情的情况下(心理来源), 尽可能长时间地(最长 3 分钟), 将手或脚放入 0~3℃的冰水(生理来源)。与此同时, 为了让被试产生更大的心理压力, 两名穿着白大褂的研究者(其中一名性别与被试相反)全程注视

被试。控制组被试将手或脚放到 35~37℃的温水中保持 3 分钟, 无摄像, 研究者不穿白大褂, 也不注视被试。

随着 SECPT 范式的发展, 出现了两种变式:

(1)延长的 SECPT (Prolonged Socially Evaluated Cold Pressor Test, P-SECPT)。P-SECPT 对 SECPT 的发展主要是通过加入伪指令来增加应激过程的不可控性和不可预测性。与 SECPT 流程相似, 被试进行浸手任务, 主试监视并对他们进行录像。伪指令是由计算机随机决定被试浸手的时间(不可控), 但是每次不能超过 90 s。同时计算机随机决定应激过程中的休息时间(不可预测), 每次最短持续 45 s。结果表明, 不可控或不可预测性因素的加入引起了应激水平的相对提高(Smeets et al., 2012)。

(2)团体的社会冷压力测试(The Socially Evaluated Cold Pressor Test for Groups, G-SECPT)。G-SECPT 适用于团体应激测试, 每组人数在 7 或 7 人以上, 具体的应激过程与 SECPT 完全一致。Minkley, Schröder, Wolf 和 Kirchner (2014)的研究结果表明, G-SECPT 能有效激活 HPA 和 SNS, 在皮质醇、心血管参数(收缩压、舒张压、心率)以及主观应激感受性等指标上也有显著增加。

3.3.2 MAST 和 iMAST 范式

由于 TSST 实验过程需要消耗大量的人力, 同时 TSST 中评审小组也可能存在分歧。Smeets 等人结合 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), 提出了由 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(Smeets et al., 2012)。MAST 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。研究表明, MAST 在个人主观报告, 自主神经系统, 以及糖皮质激素等应激反应上均具有有效性(Meyer, Smeets, Giesbrecht, Quaedflieg, & Merchelbach, 2013; Quaedflieg, Meyer, Smulders, & Smeets, 2015)。

为了将 MAST 范式引入神经影像学的研究领域, Quaedflieg 等人(2013)提出了 iMAST (Imaging

Maastricht Acute Stress Test, iMAST)范式。iMAST 的标准流程包括 5 分钟的准备阶段和 10 分钟的急性应激阶段。急性应激阶段执行多次 CPT 和心算任务,同时伴随社会评价性威胁(负反馈)。iMAST 下的 CPT 通过高低温冲击箱(Medoc Ltd., Ramat Yishai, Israel)实现。主试通过被试佩戴的与磁共振兼容的耳机对讲系统监控计算(负性反馈)。在心算试次中,高低温冲击箱基线温度是 25℃。10 s 内出现 1 个,2 个或 3 个不可预测的热脉冲(49℃)。与标准的 MAST 相似, iMAST 也告知被试电脑将随机选择 CPT 的持续时间和心算试次(不可控性或不可预测性)。

3.3.3 MMST 范式

MMST 采用“认知任务+情绪任务”,同时附加声音与动机性惩罚的复合型任务来诱发应激状态。认知任务采用修订版的同步序列听觉加法测试任务(Computer version of Paced Auditory Serial Addition Task, PASAT-C)。电脑屏幕依次有序呈现不同的数字,当提示信号出现时,被试需要将最近看到的两个数字相加,并在屏幕上选择相应答案,一旦被试作答错误,将给予白噪音的声音刺激,同时接受报酬减少的惩罚(动机性应激源)。情绪任务通过在屏幕呈现不同效价的情绪图片,控制积极情绪与消极情绪效价图片的比例及呈现时间,给被试带来相应的负性应激体验。研究发现,MMST 范式下皮肤电和唾液皮质醇水平有显著变化(Reinhardt, Schmahl, Wüst, & Bohus, 2012; Reinhardt, Kleindienst, Treede, Bohus, & Schmahl, 2013)。MMST 经济有效,可以适用于大样本研究。尤其是,MMST 虽然不符合应激源的不可控、社会评价性威胁特性,但仍表现出显著的应激反应。

4 不同范式应激诱发效果的比较与评价

4.1 各范式在快慢反应系统激活上的差异

从生理机制上看,快、慢反应通道共同参与了个体应激反应的整个过程,但不同类型的急性应激诱发范式在两个通道的激活上存在差异。

相对说来,生理性应激的诱发范式(CPT, CPAW)能够更快地引发 SNS 轴的迅速激活,在短时间内释放大量的肾上腺素和去甲肾上腺素,导致心率(Buchanan et al., 2006)和皮肤电水平(Buchanan et al., 2006; Villarejo et al., 2012)的提高,有利于个体在应激源出现的早期阶段快速做

出相应的反应,但该类范式对 HPA 轴的激活并不明显,应激效果快速消退。

与此相反,心理性应激诱发范式(如, TSST)能够更为有效地激活 HPA 轴(Allen et al., 2016)。来自 TSST 范式的证据表明:HPA 轴的皮质醇浓度在应激刺激结束后大约 30 分钟达到峰值(齐铭铭,张庆林,关丽丽,杨娟,2011),并能够持续较长(40~60 分钟)时间(Berger, Heinrichs, von Dawans, Way, & Chen, 2016; Boehringer, Schwabe, & Schachinger, 2010)。

复合型应激诱发范式(SECPT, MAST)既涉及快速反应通路 SNS 轴激活,也反应出慢反应通路 HPA 轴的激活(Meyer et al., 2013; Smeets et al., 2012)。相关研究表明,以唾液皮质醇指标为例,SECPT 的应激效果能持续 35 分钟(Guenzel, Wolf, & Schwabe, 2014)甚至 60 分钟(Schwabe et al., 2013),大约在 25 分钟左右达到峰值 (Merz, Dietsch, & Schneider, 2016)。

4.2 各范式在唾液皮质醇浓度增长量上的差异

唾液皮质醇的浓度是公认的检测应激的常用指标。但已有研究结果中,不同应激范式所诱发的皮质醇浓度差异较大(Dickerson & Kemeny, 2004)。为了更好地评价不同应激范式的诱发效果,本研究搜索了近 10 年来以唾液皮质醇为核心指标的应激研究文献(以 nmol/L 为单位),比较了不同应激诱发范式下唾液皮质醇浓度的增长值(见图 2)。AB、CDE、FHG 分别属于生理、心理、复合型应激诱发范式。

从唾液皮质醇浓度的增长值来看,TSST、

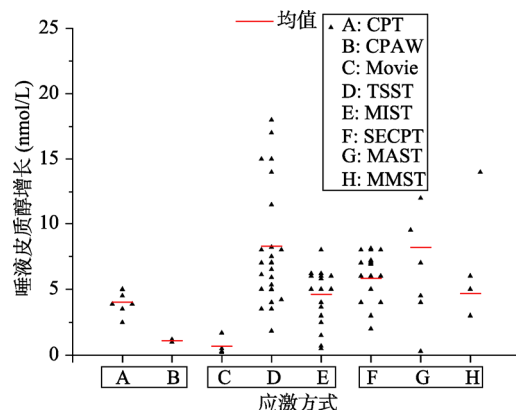


图 2 不同应激诱发范式下唾液皮质醇浓度的增长值

SECPT 与 MAST 是应激诱发效果最好的范式。TSST 和 MAST 应激条件下唾液皮质醇的增长量要普遍高于其他应激手段, SECPT 也具有相对稳定的应激诱发效果。来自 Dickerson 和 Kemeny (2004) 的元分析结果表明, 个体对应激刺激的不可控性和社会评价性威胁是人类实验应激诱发中最为关键的因素。和其他的诱发技术相比, TSST、MAST 和 SECPT 之所以具有相对稳定的诱发效果, 可能与同时具备上述两种要素有关。众多的研究者指出, 正是由于 TSST 包含了对不可控性和社会评价性威胁因素的控制, 才成功诱发了稳健的 HPA 轴反应(Giles, Mahoney, Brunyé, Taylor, & Kanarek, 2014; Wiemers, Schoofs, & Wolf, 2013; Wiemers, Schultheiss, & Wolf, 2015), 并能保持较长的应激持续时间(Dickerson & Kemeny, 2004)。Guenzel 等人(2014)也认为, SECPT 对 CPT 的最大超越就在于纳入了社会评价性威胁因素, 从而有效引起了 HPA 轴的高度激活。同样地, MAST 结合了 TSST (不可控性和社会评价性威胁)和 SECPT 范式(生理疼痛成分)的应激特点, 因此诱发出有机体显著的应激效果(Smeets et al., 2012)。综上所述, 心理性应激诱发范式及复合型应激诱发范式更有利于从快、慢反应系统两个通道考察急性应激的生理机制。

4.3 各范式在激活脑区上的差异

先前研究表明, 应激通常会激活脑干(Bali & Jaggi, 2015)、边缘系统中的海马与杏仁核(Dedovic et al., 2014; Lee et al., 2014; Smeets et al., 2006)、大脑前额叶皮层(Arnsten, 2015; Porcelli et al., 2008)等多个结构中的不同区域(Buller, Dayas, & Day, 2003; Cerqueira, Almeida, & Sousa, 2008; Dedovic et al., 2009)。但不同应激诱发范式所激活的脑区却存在差异。

生理性应激诱发范式有效激活了脑干中与有机体各项生理活动密切相关的神经核团, 进而激活 SNS 轴快反应系统。此外, 也涉及其他脑区的激活。Porcelli 等人(2008)使用 CPT 范式创设应激情境, 结果发现了应激状态下背外侧前额叶皮层(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)的激活。使用 CPAW 的 fMRI 研究证据表明, 应激会激活与个体骨骼肌张力密切相关的腹侧纹状体(Lewis, Porcelli, & Delgado, 2014), 更有利于个体对应激刺激做出快速反应。由于多个生命指标相关的中

枢(呼吸、血压、体温、骨骼肌肌张力水平等)均存在于脑干之中, 脑干区域的激活可能更多地反映了有机体对应激刺激自下而上的自动化加工过程。因此, 生理性应激诱发范式更适用于考察应激状态下个体无意识的警觉和注意活动(Liston, McEwen, & Casey, 2009)。但由于影像学研究中脑干区域信号难以捕捉, 相关的直接证据需要进一步验证。

心理性应激诱发范式则与大脑前额叶皮层、边缘系统的关系更为密切(Cerqueira et al., 2008; Dedovic et al., 2014)。相关神经影像学研究表明, 被试在观看情绪片段的过程中 DLPFC 活动减弱, 而杏仁核、背侧前扣带回、前岛叶、背侧脑桥之间的功能耦合增强(van Marle, Hermans, Qin, & Fernández, 2010); 来自 TSST 的 fMRI 研究发现了双侧岛叶, 额下、额中、额上回的激活(Lee et al., 2014; Smeets et al., 2006); 使用 TSST 的 tDCS (Transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)研究也观察到 DLPFC 失活(Bogdanov & Schwabe, 2016); 在 MIST 诱发的应激状态下, 大脑双侧背外侧前额叶及左颞极的活动显著增强, 而边缘系统(内侧眶额皮层和海马)出现了明显的失活现象(Dedovic et al., 2009, 2014)。

受神经影像学实验要求的限制, 使用复合型应激诱发范式的大脑机制研究较少。在 SECPT 诱发的应激状态下, 被试脑内海马区域的活动减弱(Paul et al., 2016)。相关研究也推测, iMAST 可能会同时激活脑干和下丘脑区域(Quaedflieg et al., 2013)。

可见, 心理性与复合型应激源涉及注意、记忆、情绪等高级认知活动的参与, 可能反映了有机体对应激刺激的意识化加工(自上而下)过程, 因而更多地激活了前额叶皮质以及与情绪加工相关的边缘系统(海马与杏仁核)。因此, 心理性和复合型的应激诱发范式更适用于探讨应激与情绪(van Marle et al., 2009)、记忆(Merz et al., 2016; Qin, Hermans, van Marle, Luo, & Fernández, 2009), 以及决策(Starcke & Brand, 2012)等高级认知活动的交互作用机制。

4.4 应激诱发范式详细优缺点比较

此外, 不同的应激诱发范式在适用范围、操作的便捷性、实验成本等方面也存在差异, 具体的优缺点见表 1。

表 1 不同急性应激诱发范式优缺点比较

诱发技术	优点	缺点
CPT	<ul style="list-style-type: none"> SNS 高度激活 脑干区域显著激活 操作简单、节约成本 	<ul style="list-style-type: none"> HPA 轴诱发效果欠佳 需排除不适宜冰水操作的被试
CPAW	<ul style="list-style-type: none"> SNS 高度激活 脑干区域显著激活 直接佩戴, 方便拆卸 适用于影像学研究 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却温度低, 有受伤风险 需要排除不适宜冰袋操作的被试
情绪片段	<ul style="list-style-type: none"> 边缘系统显著激活 操作简便 无条件限制 	<ul style="list-style-type: none"> HPA 与 SNS 诱发效果欠佳
TSST	<ul style="list-style-type: none"> HPA 轴显著激活, 唾液皮质醇指标敏感 大脑前额叶区域显著激活 主观应激体验显著 	<ul style="list-style-type: none"> 需陪审小组评判, 成本大 多次重复 HPA 灵敏度降低
MIST	<ul style="list-style-type: none"> HPA 活动接近现实环境 大脑前额叶、边缘系统显著激活 相对经济 可用于影像学研究 	<ul style="list-style-type: none"> ERP、fMRI 本身是一种应激 限制条件较多
SSST	<ul style="list-style-type: none"> 简便可控 应激过程短成本低 	<ul style="list-style-type: none"> 诱发效果需进一步验证 感官输入和肢体动作混淆效应
SECPST	<ul style="list-style-type: none"> HPA 轴高度激活, 唾液皮质醇指标敏感 大脑前额叶、边缘系统与脑干区域显著激活 实验者人数少, 节约成本 	<ul style="list-style-type: none"> 需排除不适宜冰水操作的被试 多次重复 HPA 灵敏度降低
MAST	<ul style="list-style-type: none"> SNS 轴与 HPA 轴均高度激活, 唾液皮质醇指标敏感 相对经济 可用于影像学研究 	<ul style="list-style-type: none"> ERP、fMRI 本身是一种应激 限制条件较多
MMST	<ul style="list-style-type: none"> SNS 轴与 HPA 轴均会激活, 唾液皮质醇指标较为敏感 可以灵活改变应激强度 	<ul style="list-style-type: none"> 容易诱发其他情绪 多因素混淆

5 未来研究展望

5.1 发展基于虚拟现实的急性应激诱发范式

现实生活中, 应激状态多由具有真实意义的事件所诱发。尽管现有应激激发范式已经能够较为有效地诱发出被试的应激体验, 但由于这些应激源多来自于研究者对真实应激条件的客观化模拟, 因而在研究结果解释与应用过程中仍存在局限性与不足。近年来, 虚拟现实技术(Virtual Reality, VR)的迅速发展为解决上述问题提供了可能。VR 技术具有构想性、沉浸感和实时交互性的特点, 能够为被试呈现高度真实、生动的现实情境, 更有利于有效诱发被试真实的应激体验。不仅如此, 虚拟现实技术和“可穿戴技术”的结合, 还能对应激过程的各项生理变化进行进一步的实时监控, 实现从虚拟现实模拟到虚拟交互功能的升级。当前, 虚拟现实技术已被广泛地应用于针

对恐怖症和 PTSD 等应激相关身心疾病的治疗中, 并取得了比传统心理治疗更为显著的效果 (Cuperus, Laken, van den Hout, & Engelhard, 2016; Maples-Keller, Price, Rauch, Gerardi, & Rothbaum, 2016; Page & Coxon, 2015)。因此, 改变传统的应激刺激呈现模式和个体反应模式, 搭建应激情境模拟、交互反应、生理信号信息采集于一体的应激研究平台, 成为未来急性应激诱发范式发展新增长点。

5.2 联合以唾液为媒介的快慢反应通道检测指标

研究表明, 人体的唾液中存在多种能够反映有机体生理活动的重要生物标志物, 例如神经营养因子、激素与神经递质等 (Segal, 2016)。由于唾液采集的非侵入性与便携性, 储存与运输条件的简便性, 近年来, 唾液已逐步成为神经科学研究人员用来揭示复杂行为认知过程及其生理机制的

首选生物样品。甚至有学者认为,以唾液分析为主的生物科学将心理学与神经科学的发展推进到了一个新的高度(Segal, 2016)。研究表明,应激产生的快(SNS轴)、慢(HPA轴)通道中均存在有效可靠的唾液标记物,尤以快反应通道中的唾液 α 淀粉酶(sAA)(Nater & Rohleder, 2009; Thoma et al., 2012)和慢反应通道中的唾液皮质醇(sC)(Foley & Kirschbaum, 2010; Kirschbaum & Hellhammer, 1989)最为典型。然而,目前大多数研究采用HPA轴的sC浓度作为评估个体应激水平的代表性生化指标,忽略了对SNS轴中sAA的关注。应激过程涉及SNS和HPA轴两个系统的协同作用,单一的sC指标并不能全面地评估应激反应的动态过程。为此,Ali和Pruessner(2012)提出,sC和sAA的比率可能是一个更好地评估应激的指标。通常使用AUC_g(Area under the curve with respect to ground, AUC_g)和AUC_i(Area under the curve with respect to increase, AUC_i)两种具体指标,分别反应整体激素水平和时间进程中不同反应系统的敏感性(Pruessner, Kirschbaum, Meinlschmid, & Hellhammer, 2003)。因此,从联合快慢反应通道检测指标的思路来制定评估未来应激研究的评估框架,不仅可以实现不同研究范式之间的横向比较,也能全面考察个体应激活动中两系统协同作用的动态平衡机制。同时,sC和sAA的比率更能准确地反映出个体差异,从而为应激系统失调障碍的发病机制提供更为系统的解释路径(Alsaman, Tucker, & Vanneste, 2016; Booij et al., 2015)。

参考文献

- 罗跃嘉, 林婉君, 吴健辉, 秦绍正. (2013). 应激的认知神经科学研究. *生理科学进展*, 44, 345-353.
- 齐铭铭, 张庆林, 关丽丽, 杨娟. (2011). 急性心理性应激诱发的神经内分泌反应及其影响因素. *心理科学进展*, 19, 1347-1354.
- 张禹, 罗禹, 孙丽娟, 赵守盈, 李红. (2015). 急性应激对工作记忆的影响受工作记忆负荷调节: 来自电生理的证据. *心理科学*, 38, 42-47.
- Al'Absi, M., Petersen, K. L., & Wittmers, L. E. (2002). Adrenocortical and hemodynamic predictors of pain perception in men and women. *Pain*, 96, 197-204.
- Ali, N., & Pruessner, J. C. (2012). The salivary alpha amylase over cortisol ratio as a marker to assess dysregulations of the stress systems. *Physiology & Behavior*, 106, 65-72.
- Allen, A. P., Kennedy, P. J., Dockray, S., Cryan, J. F., Dinan, T. G., & Clarke, G. (2016). The trier social stress test: principles and practice. *Neurobiology of Stress*, 6, 113-126.
- Alsaman, O. A., Tucker, D., & Vanneste, S. (2016). Salivary stress-related responses in tinnitus: A preliminary study in young male subjects with tinnitus. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 338.
- Arnsten, A. F. T. (2015). Stress weakens prefrontal networks: Molecular insults to higher cognition. *Nature Neuroscience*, 18, 1376-1385.
- Bali, A., & Jaggi, A. S. (2015). Clinical experimental stress studies: Methods and assessment. *Reviews in the Neurosciences*, 26, 555-579.
- Berger, J., Heinrichs, M., von Dawans, B., Way, B. M., & Chen, F. S. (2016). Cortisol modulates men's affiliative responses to acute social stress. *Psychoneuroendocrinology*, 63, 1-9.
- Bierhaus, A., Wolf, J., Andrassy, M., Rohleder, N., Humpert, P. M., Petrov, D., ... Nawroth, P. P. (2003). A mechanism converting psychosocial stress into mononuclear cell activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 1920-1925.
- Boehringer, A., Schwabe, L., & Schachinger, H. (2010). A combination of high stress-induced tense and energetic arousal compensates for impairing effects of stress on memory retrieval in men. *Stress*, 13, 444-453.
- Bogdanov, M., & Schwabe, L. (2016). Transcranial stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex prevents stress-induced working memory deficits. *The Journal of Neuroscience*, 36, 1429-1437.
- Booij, S. H., Bos, E. H., Bouwmans, M. E. J., van Faassen, M., Kema, I. P., Oldehinkel, A. J., & de Jonge, P. (2015). Cortisol and α -amylase secretion patterns between and within depressed and non-depressed individuals. *PLoS One*, 10, e0131002.
- Brouwer, A.-M., & Hogervorst, M. A. (2014). A new paradigm to induce mental stress: The Sing-a-Song Stress Test (SSST). *Frontiers in Neuroscience*, 8, 224.
- Buchanan, T. W., Tranel, D., & Adolphs, R. (2006). Impaired memory retrieval correlates with individual differences in cortisol response but not autonomic response. *Learning & Memory*, 13, 382-387.
- Buller, K. M., Dayas, C. V., & Day, T. A. (2003). Descending pathways from the paraventricular nucleus contribute to the recruitment of brainstem nuclei following a systemic immune challenge. *Neuroscience*, 118, 189-203.
- Buske-Kirschbaum, A., Krieger, S., Wilkes, C., Rauh, W., Weiss, S., & Hellhammer, D. H. (2007). Hypothalamic-pituitary-adrenal axis function and the cellular immune response in former preterm children. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 92, 3429-3435.

- Cerqueira, J. J., Almeida, O. F., & Sousa, N. (2008). The stressed prefrontal cortex. Left? Right!. *Brain, Behavior, and Immunity*, 22, 630–638.
- Cuperus, A. A., Laken, M., van den Hout, M. A., & Engelhard, I. M. (2016). Degrading emotional memories induced by a virtual reality paradigm. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 52, 45–50.
- Dedovic, K., Duchesne, A., Engert, V., Lue, S. D., Andrews, J., Efanov, S. I., ... Pruessner, J. C. (2014). Psychological, endocrine and neural responses to social evaluation in subclinical depression. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9, 1632–1644.
- Dedovic, K., Renwick, R., Mahani, N. K., Engert, V., Lupien, S. J., & Pruessner, J. C. (2005). The Montreal Imaging Stress Task: Using functional imaging to investigate the effects of perceiving and processing psychosocial stress in the human brain. *Journal of Psychiatry & Neuroscience*, 30, 319–326.
- Dedovic, K., Rexroth, M., Wolff, E., Duchesne, A., Scherling, C., Beaudry, T., ... Pruessner, J. C. (2009). Neural correlates of processing stressful information: An event-related fMRI study. *Brain Research*, 1293, 49–60.
- Dickerson, S. S., & Kemeny, M. E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: A theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological Bulletin*, 130, 355–391.
- Duncko, R., Cornwell, B., Cui, L. H., Merikangas, K. R., & Grillon, C. (2007). Acute exposure to stress improves performance in trace eyeblink conditioning and spatial learning tasks in healthy men. *Learning & Memory*, 14, 329–335.
- Esler, M., Lux, A., Jennings, G., Hastings, J., Socratous, F., & Lambert, G. (2004). Rilmenidine sympatholytic activity preserves mental stress, orthostatic sympathetic responses and adrenaline secretion. *Journal of Hypertension*, 22, 1529–1534.
- Foley, P., & Kirschbaum, C. (2010). Human hypothalamus–pituitary–adrenal axis responses to acute psychosocial stress in laboratory settings. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35, 91–96.
- Giles, G. E., Mahoney, C. R., Brunyé, T. T., Taylor, H. A., & Kanarek, R. B. (2014). Stress effects on mood, HPA axis, and autonomic response: Comparison of three psychosocial stress paradigms. *PLoS One*, 9, e113618, doi: 10.1371/journal.pone.0113618.
- Gluck, M. E., Geliebter, A., Hung, J., & Yahav, E. (2004). Cortisol, hunger, and desire to binge eat following a cold stress test in obese women with binge eating disorder. *Psychosomatic Medicine*, 66, 876–881.
- Guenzel, F. M., Wolf, O. T., & Schwabe, L. (2014). Sex differences in stress effects on response and spatial memory formation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 109, 46–55.
- Günzel, F. M. (2014). *The impact of stress on stimulus-response learning* (Unpublished doctoral dissertation). Ruhr University Bochum.
- Hawn, S. E., Paul, L., Thomas, S., Miller, S., & Amstadter, A. B. (2014). Stress reactivity to an electronic version of the Trier Social Stress Test: A pilot study. *Frontiers in Psychology*, 6, 724.
- Hermans, E. J., Henckens, M. J. A. G., Joëls, M., & Fernández, G. (2014). Dynamic adaptation of large-scale brain networks in response to acute stressors. *Trends in Neurosciences*, 37, 304–314.
- Hermans, E. J., van Marle, H. J., Ossewaarde, L., Henckens, M. J. A. G., Qin, S. Z., van Kesteren, M. T., ... Fernández, G. (2011). Stress-related noradrenergic activity prompts large-scale neural network reconfiguration. *Science*, 334, 1151–1153.
- Ishizuka, K., Hillier, A., & Beversdorf, D. Q. (2007). Effect of the cold pressor test on memory and cognitive flexibility. *Neurocase*, 13, 154–157.
- Jenderny, S. (2015). *The relation between conscientiousness and skin conductance in the Sing-a-Song Stress Test (SSST)* (Unpublished master's thesis). University of Twente, Enschede.
- Jönsson, P., Wallergård, M., Österberg, K., Hansen, Å. M., Johansson, G., & Karlson, B. (2010). Cardiovascular and cortisol reactivity and habituation to a virtual reality version of the trier social stress test: A pilot study. *Psychoneuroendocrinology*, 35, 1397–1403.
- Kelly, M. M., Tyrka, A. R., Anderson, G. M., Price, L. H., & Carpenter, L. L. (2008). Sex differences in emotional and physiological responses to the Trier Social Stress Test. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 39, 87–98.
- Kirschbaum, C., & Hellhammer, D. H. (1989). Salivary cortisol in psychobiological research: An overview. *Neuropsychobiology*, 22, 150–169.
- Kirschbaum, C., & Hellhammer, D. H. (2000). Salivary cortisol. *Encyclopedia of Stress*, 3, 379–383.
- Kirschbaum, C., Pirke, K. M., & Hellhammer, D. H. (1993). The 'Trier Social Stress Test'—a tool for investigating psychobiological stress responses in a laboratory setting. *Neuropsychobiology*, 28, 76–81.
- Kudielka, B. M., Hellhammer, D. H., & Kirschbaum, C. (2007). Ten years of research with the Trier Social Stress Test—revisited. In E. Harmon-Jones & P. Winkielman. *Social neuroscience: Integrating biological and psychological explanations of social behavior* (pp. 56–83). New York, NY, USA: Guilford Press.
- Kudielka, B. M., Schommer, N. C., Hellhammer, D. H., &

- Kirschbaum, C. (2004). Acute HPA axis responses, heart rate, and mood changes to psychosocial stress (TSST) in humans at different times of day. *Psychoneuroendocrinology*, 29, 983–992.
- Lee, M. R., Cacic, K., Demers, C. H., Haroon, M., Heishman, S., Hommer, D. W., ... Salmeron, B. J. (2014). Gender differences in neural-behavioral response to self-observation during a novel fMRI social stress task. *Neuropsychologia*, 53, 257–263.
- Lewis, A. H., Porcelli, A. J., & Delgado, M. R. (2014). The effects of acute stress exposure on striatal activity during Pavlovian conditioning with monetary gains and losses. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 179.
- Liston, C., McEwen, B. S., & Casey, B. J. (2009). Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 912–917.
- Maples-Keller, J. L., Price, M., Rauch, S., Gerardi, M., & Rothbaum, B. O. (2016). Investigating relationships between PTSD symptom clusters within virtual reality exposure therapy for OEF/OIF veterans. *Behavior Therapy*, 48, 147–155.
- McRae, A. L., Saladin, M. E., Brady, K. T., Upadhyaya, H., Back, S. E., & Timmerman, M. A. (2006). Stress reactivity: Biological and subjective responses to the cold pressor and Trier Social stressors. *Human Psychopharmacology: Clinical and Experimental*, 21, 377–385.
- Merz, C. J., Dietsch, F., & Schneider, M. (2016). The impact of psychosocial stress on conceptual knowledge retrieval. *Neurobiology of Learning and Memory*, 134, 392–399.
- Meyer, T., Smeets, T., Giesbrecht, T., Quaedflieg, C. W. E. M., & Merckelbach, H. (2013). Acute stress differentially affects spatial configuration learning in high and low cortisol-responding healthy adults. *European Journal of Psychotraumatology*, 4, 19854.
- Minkley, N., Schröder, T. P., Wolf, O. T., & Kirchner, W. H. (2014). The socially evaluated cold-pressor test (SECPT) for groups: Effects of repeated administration of a combined physiological and psychological stressor. *Psychoneuroendocrinology*, 45, 119–127.
- Nater, U. M., & Rohleder, N. (2009). Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system: Current state of research. *Psychoneuroendocrinology*, 34, 486–496.
- Pabst, S., Brand, M., & Wolf, O. T. (2013). Stress and decision making: A few minutes make all the difference. *Behavioural Brain Research*, 250, 39–45.
- Page, S., & Coxon, M. (2015). Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: Small samples and no controls?. *Frontiers in Psychology*, 7, 326.
- Paul, M., Lech, R. K., Scheil, J., Dierolf, A. M., Suchan, B., & Wolf, O. T. (2016). Acute stress influences the discrimination of complex scenes and complex faces in young healthy men. *Psychoneuroendocrinology*, 66, 125–129.
- Porcelli, A. J. (2014). An alternative to the traditional cold pressor test: The cold pressor arm wrap. *JoVE (Journal of Visualized Experiments)*, (83), e50849.
- Porcelli, A. J., Cruz, D., Wenberg, K., Patterson, M. D., Biswal, B. B., & Rypma, B. (2008). The effects of acute stress on human prefrontal working memory systems. *Physiology & Behavior*, 95, 282–289.
- Porcelli, A. J., Lewis, A. H., & Delgado, M. R. (2012). Acute stress influences neural circuits of reward processing. *Frontiers in Neuroscience*, 6, 157.
- Pruessner, J. C., Kirschbaum, C., Meinlschmid, G., & Hellhammer, D. H. (2003). Two formulas for computation of the area under the curve represent measures of total hormone concentration versus time-dependent change. *Psychoneuroendocrinology*, 28, 916–931.
- Qin, S. Z., Hermans, E. J., van Marle, H. J. F., Luo, J., & Fernández, G. (2009). Acute psychological stress reduces working memory-related activity in the dorsolateral prefrontal cortex. *Biological Psychiatry*, 66, 25–32.
- Quaedflieg, C. W. E. M., Meyer, T., Smulders, F. T. Y., & Smeets, T. (2015). The functional role of individual-alpha based frontal asymmetry in stress responding. *Biological Psychology*, 104, 75–81.
- Quaedflieg, C. W. E. M., Schwabe, L., Meyer, T., & Smeets, T. (2013). Time dependent effects of stress prior to encoding on event-related potentials and 24h delayed retrieval. *Psychoneuroendocrinology*, 38, 3057–3069.
- Quas, J. A., Yim, I. S., Rush, E., & Sumaroka, M. (2012). Hypothalamic pituitary adrenal axis and sympathetic activation: Joint predictors of memory in children, adolescents, and adults. *Biological Psychology*, 89, 335–341.
- Reinhardt, T., Schmahl, C., Wüst, S., & Bohus, M. (2012). Salivary cortisol, heart rate, electrodermal activity and subjective stress responses to the Mannheim multicomponent stress test (MMST). *Psychiatry Research*, 198, 106–111.
- Reinhardt, T., Kleindienst, N., Treede, R.-D., Bohus, M., & Schmahl, C. (2013). Individual modulation of pain sensitivity under stress. *Pain Medicine*, 14, 676–685.
- Ren, P., Barreto, A., Huang, J., Gao, Y., Ortega, F. R., & Adjouadi, M. (2014). Off-line and on-line stress detection through processing of the pupil diameter signal. *Annals of Biomedical Engineering*, 42, 162–176.
- Schlotz, W. (2013). *Stress reactivity* (pp. 1891–1894). New York: Springer.
- Schwabe, L., Haddad, L., & Schachinger, H. (2008). HPA axis activation by a socially evaluated cold-pressor test. *Psychoneuroendocrinology*, 33, 890–895.

- Schwabe, L., Höffken, O., Tegenthoff, M., & Wolf, O. T. (2013). Stress-induced enhancement of response inhibition depends on mineralocorticoid receptor activation. *Psychoneuroendocrinology*, *38*, 2319–2326.
- Segal, S. K. (2016). Neuroscience meets salivary bioscience: An integrative perspective. *Behavioral Neuroscience*, *130*, 156–175.
- Smeets, T., Cornelisse, S., Quaedflieg, C. W. E. M., Meyer, T., Jellicic, M., & Merckelbach, H. (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.
- Smeets, T., Jellicic, M., Merckelbach, H., Peters, M., Fett, A., Taverniers, J., ... Dautzenberg, J. (2006). Enhanced memory performance on an internal-internal source monitoring test following acute psychosocial stress. *Behavioral Neuroscience*, *120*, 1204–1210.
- Starcke, K., & Brand, M. (2012). Decision making under stress: A selective review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *36*, 1228–1248.
- Taylor, S. E., Burklund, L. J., Eisenberger, N. I., Lehman, B. J., Hilmert, C. J., & Lieberman, M. D. (2008). Neural bases of moderation of cortisol stress responses by psychosocial resources. *Journal of Personality and Social Psychology*, *95*, 197–211.
- Thoma, M. V., Kirschbaum, C., Wolf, J. M., & Rohleder, N. (2012). Acute stress responses in salivary alpha-amylase predict increases of plasma norepinephrine. *Biological Psychology*, *91*, 342–348.
- van Marle, H. J., Hermans, E. J., Qin, S., & Fernández, G. (2009). From specificity to sensitivity: How acute stress affects amygdala processing of biologically salient stimuli. *Biological Psychiatry*, *66*, 649–655.
- van Marle, H. J. F., Hermans, E. J., Qin, S. Z., & Fernández, G. (2010). Enhanced resting-state connectivity of amygdala in the immediate aftermath of acute psychological stress. *Neuroimage*, *53*, 348–354.
- Villarejo, M. V., Zapirain, B. G., & Zorrilla, A. M. (2012). A stress sensor based on Galvanic Skin Response (GSR) controlled by ZigBee. *Sensors*, *12*, 6075–6101.
- Von Dawans, B., Kirschbaum, C., & Heinrichs, M. (2011). The Trier Social Stress Test for Groups (TSST-G): A new research tool for controlled simultaneous social stress exposure in a group format. *Psychoneuroendocrinology*, *36*, 514–522.
- Wiemers, U. S., Schoofs, D., & Wolf, O. T. (2013). A friendly version of the Trier Social Stress Test does not activate the HPA axis in healthy men and women. *Stress*, *16*, 254–260.
- Wiemers, U. S., Schultheiss, O. C., & Wolf, O. T. (2015). Public speaking in front of an unreceptive audience increases implicit power motivation and its endocrine arousal signature. *Hormones and Behavior*, *71*, 69–74.
- Yim, I. S., Quas, J. A., Cahill, L., & Hayakawa, C. M. (2010). Children's and adults' salivary cortisol responses to an identical psychosocial laboratory stressor. *Psychoneuroendocrinology*, *35*, 241–248.
- Yim, I. S., Quas, J. A., Rush, E. B., Granger, D. A., & Skoluda, N. (2015). Experimental manipulation of the Trier Social Stress Test-Modified (TSST-M) to vary arousal across development. *Psychoneuroendocrinology*, *57*, 61–71.

Acute stress: Induction, measurement and effect analysis

DUAN Haijun; WANG Xuewei; WANG Botao; WANG Tongxing;
ZHANG Xinru; WANG Zijuan; HU Weiping

(MOE Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Stress emerges as a frontier topic in many disciplines. The laboratory based on stress research often employs different induction paradigms with varied efficacy, leading to incomparable results across different labs. The current review summarized common paradigms in stress induction based on the sources of stressors, which results in either fast or slow stress responses, varied cortisol levels in saliva, and different patterns in brain activation. Physiological stressors lead to earlier excitation of SNS system and brain stem; psychological stressors lead to activation of HPA axis, frontal lobe and limbic system; while combined stressors lead to activation of both SNS system and HPA axis. Measurement of fast and slow stress-response system together therefore is important in a full understanding of different stress induction paradigms, and reveals the dynamic changes of the two systems in stress research.

Key words: acute stress; induction paradigms; cortisol