

青少年应激下皮质醇应答与风险决策 相关性的性别差异^{*}

陆青云^{1,2} 陶芳标¹ 侯方丽¹ 孙莹¹

(¹ 安徽医科大学公共卫生学院儿少卫生与妇幼保健学系, 合肥 230032)

(² 南通大学公共卫生学院儿少卫生学系, 江苏南通 226009)

摘 要 本研究旨在探讨中国青少年应激下皮质醇应答和风险决策相关性的性别差异。本研究以健康初中生为被试者, 采用特里尔社会应激测试(Trier Social Stress Test, TSST)诱发机体应激反应, 测试唾液皮质醇在应激前后不同时间段的水平, 并要求被试者在应激状态下完成气球模拟风险决策任务(Balloon Analogue Risk Task, BART)。结果发现, 男性在 TSST 诱导下皮质醇反应度显著高于女性, 男性中高皮质醇应答者 BART 表现为更高层次的冒险行为和更低的总奖励金额, 而女性中高皮质醇应答者 BART 表现为更高的总奖励金额。研究结果提示, 中国青少年应激条件下皮质醇应答与风险决策之间的联系存在性别差异, 尤其在男性, 高皮质醇应答者更具有冒险行为。

关键词 皮质醇反应度; 风险决策; 青少年

分类号 B845

1 引言

以往的实验研究发现应激状况下冒险行为(Lighthall, Mather, & Gorlick, 2009; Porcelli & Delgado, 2009; Preston, Buchanan, Stansfield, & Bechara, 2007; Starcke, Wolf, Markowitsch, & Brand, 2008; van den Bos, Harteveld, & Stoop, 2009), 奖赏反应(Bogdan & Pizzagalli, 2006; Ossewaarde et al., 2011)以及决策速度(Porcelli & Delgado, 2009; van den Bos et al., 2009)都会发生改变, 最近更多的研究也发现应激状态下风险决策行为存在性别差异, 如实验室研究使用物理应激(冷刺激)作为应激源(Lovallo, 1975), 观察被试者在应激状态下气球模拟风险决策实验(Balloon Analogue Risk Task, BART) (Lejuez et al., 2002)的表现, 结果发现冷刺激下男性在 BART 中表现出增加奖励得分和冒险行为, 而女性表现则相反, 且决策时间更长(Lighthall et al., 2009; Lighthall et al., 2012)。使用心

理应激源(如公开演讲)同样发现应激在影响个体在爱德华赌博任务(Iowa Gambling Task, IGT)表现时存在性别差异(Preston et al., 2007; van den Bos et al., 2009)。这种现象似乎符合自然选择规律, 传统上应激对人类而言定义为“抗争或逃避”, 应激反应可提高男性的侵略行为或选择逃离, 然而, 从哺育后代的角度来看, 如果女性选择男性同样的方式, 后代不能受保护, 因此女性在更容易遭遇外来侵害的同时也更容易选择应激适应行为, 抑制冒险行为, 而不是选择攻击或逃离(Taylor, Klein, Lewis, Gruenewald, & Gurung, 2000)。

机体暴露于应激源, 如生理(疼痛)或心理(害怕、挑战、挫败感等等), 下丘脑-垂体-肾上腺(hypothalamic-pituitary-adrenal axis, HPA)轴活动增强, 并作用于肾上腺体分泌大量的糖皮质激素(人类称皮质醇) (Dickerson & Kemeny, 2004), 在短时间(几分钟内)为机体对抗外部环境挑战做出准备。随着时间的推移, 皮质醇释放增加继而激发

收稿日期: 2013-08-20

^{*} 教育部高等学校博士学科点专项科研基金项目(20103420110005)、国家自然科学基金青年项目(81102146)资助。

通讯作者: 陶芳标, E-mail: taofangbiao@126.com

HPA 轴的负反馈机制,并作用于下丘脑和垂体,抑制皮质醇的进一步分泌(Sapolsky, Romero, & Munck, 2000)。因此皮质醇在机体应激状态下释放,其含量越高反应了机体对应激源的反应性和敏感性越高(Natsuaki et al., 2009)。纵观以往的研究,大部分研究者关注了应激状态对风险决策行为影响的性别差异,然而由于个体在应激源的作用下表现出的皮质醇应答水平差异性,例如,Granger (2012)认为大约有 20%~30%的人在中等强度应激源刺激下,皮质醇水平应激后比应激前至少增加 10%。同时,西方研究报道认为体内快速升高的皮质醇水平和精神欢愉与感觉寻求行为相关(Erickson, Drevets, & Schulkin, 2003; Piazza & Le Moal, 1997),高皮质醇应答者较之低应答者更倾向于即时奖励的获得(Adam & Epel, 2007; Newman, O'Connor, & Conner, 2007)。van den Bos 等(2009)使用心理应激源(如公开演讲)发现男性应激下高皮质醇应答者 IGT 中表现出更高的冒险行为,而女性皮质醇反应度轻微升高者 IGT 中得分更高。另外,药理应激下外生性皮质醇水平升高的男性表现为冒险行为增加(Putman, Antypa, Crysovergi, & van der Does, 2010),证明至少在男性中 HPA 轴的活动过度与风险决策行为相关。因此本研究以心理应激源作为刺激 HPA 轴活动的手段,激发皮质醇反应,拟评价皮质醇应答水平与风险决策行为之间是否存在联系,并且这种联系是否存在性别差异。

青少年比成人更倾向于冒险行为,当他们面临既有潜在获得又有潜在损失的风险情境时,对奖赏的变化比成人更敏感,对损失的变化相对不敏感(Millstein & Halpern-Felsher, 2002)。本研究目的关注中国青少年,特别是男性,应激应答后的客观指标—皮质醇的应答水平是否与风险决策行为相关。本研究以特里尔社会应激测试儿童版(Trier Social Stress Test for Children, TSST-C) (Dickerson & Kemeny, 2004)作为心理应激源,随后使用气球模拟风险决策任务(Balloon Analog Risk Task, BART) (Lejuez et al., 2002)来评价相同应激条件下不同应激应答和风险决策行为的关系。常用的 BART 包括对一系列计算机模拟气球进行充气以得到奖励分值,每一个气球越大则得到的分值越高,最终通过积累分值兑换奖励金额。然而每充气一次会增加该气球爆破的机会从而使该气球前面充气累计的分值清除。因此, BART 最终奖励分值获得越多,取决于每次对气球充气获得累计分值和尽量逃避气球

爆破累计分值全部清除这两方面的权衡。BART 作为一种特殊的风险决策手段,把每一次充气动作设计成为了获得下一次潜在奖励而冒着已有积累分值被全部清空的风险,任务鼓励被试者关注对奖励的权衡而不是单纯的冒险性充气(Bornovalova et al., 2009)。以往的研究已经证明 BART 中的得分和冲动行为,感觉寻求(Lejuez et al., 2002)以及自我评价冒险行为和赌博倾向相关(Breen & Zuckerman, 1999; Lejuez et al., 2002),同时 BART 作为青少年冒险行为的评价是一个有效工具,已广泛用于评估青少年风险决策倾向,并能预测真实冒险行为(Lejuez, Aklina, Zvolenskyb, & Pedulla, 2003; Lejuez et al., 2007)。本研究综合上述分析,假设中国青少年 TSST 下有显著的应激应答,皮质醇应答和风险决策行为之间联系存在性别差异。本研究结果帮助我们进一步深入理解中国青少年应激状态下,不同的应答反应与风险决策行为之间关系的生物学机制。

2 方法

2.1 研究对象

在某城市中学初二年级随机选取 100 名学生,其中男生 50 名,女生 50 名。其中 50 名女生均为月经初潮来临后,其中 5 名女性被试者因为实验当日正处月经期而被剔除,另外考虑到抑郁会影响到皮质醇水平,本研究使用儿童抑郁量表(Children's Depression Inventory, CDI) (Kovacs, 1992)中文版进行抑郁症状筛查,5 名被试者因得分超过 19 分被剔除,另有 3 名中途退出实验,正式参与实验的被试者并获得完整数据的共为 87 人,其中男性 48 人,平均年龄为 12.7 ± 0.4 岁;女性 39 人,平均年龄为 12.7 ± 0.2 岁。身体健康,体重正常,无急慢性疾病,无糖皮质激素服用史。

2.2 研究设计

人体皮质醇水平清晨高,随后平稳下降,凌晨至最低点后又开始升高(Weitzman et al., 1971)。为了避免唾液皮质醇自身节律性分泌波动性的影响,实验统一放在下午 2:00 开始进行。实验开始前被试者以及父母亲均获得知情同意,实验开始后被试者均被告知有退出实验的权利。被试者到达实验室旁的休息室后休息 15 min 后提取第一份唾液样本。紧接着被试者填写社会人口信息问卷,并进行特里尔社会应激实验(见研究工具),这个阶段大约 20 min,特里尔社会应激实验结束后采集第二份唾液

样本。随后被试者开始进行气球模拟风险决策任务测试(见研究工具)。当完成风险决策任务后第三份唾液标本被采集(大约在第二份样本采集后 15~20 min 左右)。

2.3 研究工具

2.3.1 特里尔社会应激测试

本研究采用特里尔社会应激测试儿童版(Trier Social Stress Test for Children, TSST-C) (Dickerson & Kemeny, 2004), TSST-C 程序共持续 15 min, 包括 5 min 演讲准备阶段, 5 min 公开场合演讲拍摄以及 5 min 口头心算任务。被试者要求在此过程中不能喝水、吃东西。在实验开始前 2 hr 之内不能参加剧烈运动。被试者首先被主试者带到实验室, 实验室中坐着 2 个“老师”, 主试者先给被试讲解演讲任务:“下面有 5 分钟的演讲任务, 你有 5 分钟的时间准备, 演讲过程中你的语言陈述和肢体表现都将由这 2 个老师进行评判, 同时我们将拍摄和录音你的演讲过程, 在准备过程中, 你可以用纸笔进行思路整理和准备, 但在正式演讲开始时, 将不允许用纸笔。”被试者要求在提供的 6 个演讲主题中任选一个作为演讲内容。紧接着, 被试者被主试者带回休息室准备。5 min 后, 被试者被带到实验室开始正式的演讲。演讲过程持续 5 min, 如果演讲时间少于 5 min, 则老师提醒“你还有一些时间, 请继续”; 如果 5 min 演讲时间到, 被试者还在继续陈述, “老师”要求被试停止陈述。第二部分是口头心算作业, 时间为 5 min, 老师告诉被试“你接下来的还有一项任务是口头心算, 从 1022 开始, 依次减去 13, 越快越好, 越准确越好, 请开始。”一旦被试报告的结果出错, “老师”立即说“停止, 从 1022 重新开始”, 5 min 口算时间到, 被试被带回休息室。

2.3.2 气球模拟风险决策任务

本研究对 Lejuez 等人(2002)设计的气球模拟风险决策任务(Balloon Analog Risk Task, BART)进行了改良。实验程序用 MATLAB 编写, 由电脑屏幕呈现刺激材料。界面有两个奖励的银行, 一个是永久银行, 即之前获得的所有奖励额度; 另一个是临时银行, 即界面出现的气球获得的奖励额度。此任务共有 30 个气球, 一开始呈现的是一个很小的气球, 参与者通过鼠标点击进行对该气球进行充气, 每充气一下气球直径就会增加 1 mm, 参与者就会得到奖励分值(如图 1)。然而每个气球有一个事先设定的爆破点, 并随机分布在 1~30 次点击之间, 如果气球爆炸, 先前该气球的积累的得分就会被清

除。参与者也可选择停止充气, 点击“获取奖励”后, 该气球获取的累计奖励将从临时银行全部转至永久银行。与此同时另外一个新气球呈现。如果气球充气超过最大膨胀点, 则出现“嘭”的声音, 且临时银行中的奖励额度变为“零”。BART 任务指导语: “我们正在做一项对金钱的判断研究。电脑屏幕出现一个小气球和一个气球泵, 您可以通过电脑鼠标点击气泵, 向气球打气。每打一次气(即鼠标打击气泵一次)即获得 0.05 元钱奖励, 但也有打爆的可能性, 如果气球爆炸前面获得的奖励就会清除。您可以选择继续打气, 或点击“获取奖励”而结束向该气球充气。整个过程将陆续显示 30 个气球, 最后根据得分我们将进行等额现金奖励。”

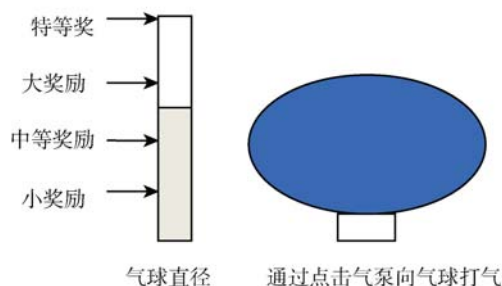


图 1 《气球模拟风险决策任务—青少年版》原理示意图

2.3.3 唾液样本收集、贮存和检测

唾液收集采用专门的唾液采集器(salivette, SARSTEDT), 使用时先把 salivette 中的棉条倒入口中咀嚼 45 sec, 然后再用舌头将咀嚼后的棉条放入 salivette 试管中, 经短暂的离心就可收集到 0.5~1.5 毫升的唾液, 并置-70℃ 冰箱低温储存。采用酶联免疫测定法(ELISA)测定唾液皮质醇的浓度(CUSABIO 产地: 加拿大)。

2.4 统计方法

采用 SPSS 15.0 对数据进行统计分析。使用重复测量方差分析(Repeated measure ANOVA)统计被试者不同时间点皮质醇浓度差异, 同时使用公式计算不同时间点皮质醇水平的曲线下面积(Pruessner, Kirschbaum, Meinlschmid, & Hellhammer, 2003)。曲线下面积反应的是不同时间点皮质醇浓度连线后和横坐标 0 之间的总面积(Area under the curve with respect to ground, AUC_G) (Fekedulegn et al., 2007), 然而本研究皮质醇反应的变量指标为皮质醇应激激发后曲线下面积(Area under the curve with respect to increase, AUC_I), 这种测量方法评价的是

应激激发后的皮质醇的反应变化,它控制了个体应激前基线皮质醇的水平面积(Area under the curve with respect to baseline, AUC_B),所以 AUC_I 更能体现应激系统的反应性(Granger, 2012),即皮质醇反应度,如图 2 所示。气球模拟风险决策任务(BART)测量的主要指标是调整平均打气数和总金额奖励。调整平均打气数即除爆破气球外的每个气球平均充气数(也就是每个气球用来积累得分的打气数),调整平均打气数评价风险决策是个较优指标,因为充气数受到爆破气球的影响,因此在绝对平均数中可以限制受试者间变异度(Lejuez et al., 2002)。采用相关性分析评价皮质醇 AUC_I , AUC_G 和风险决策相关指标的相关关系,并以 AUC_I 平均值划分为皮质醇高应答组和低应答组,使用方差分析比较不同皮质醇应答组 BART 调整平均打气数和奖励金额数。

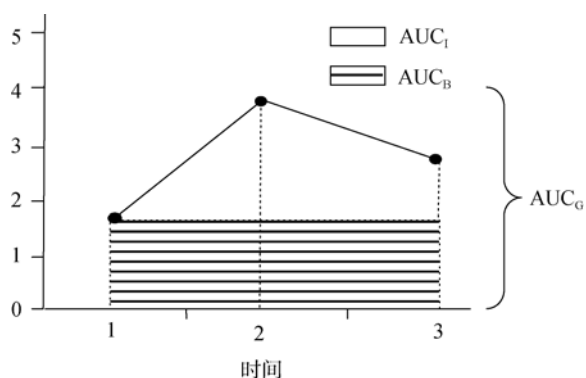


图 2 不同时间点皮质醇曲线下面积

注: AUC_G 代表三个不同时间点皮质醇浓度的曲线下总面积; AUC_B 代表基线面积(以应激前基线皮质醇浓度作为标准); AUC_I 代表受应激后的皮质醇反应面积, $AUC_I = AUC_G - AUC_B$ 。

3 结果

3.1 TSST 引导下唾液皮质醇分泌

被试者的唾液皮质醇水平在 3 个时间点上的变化如图 2。重复测量方差分析结果表明,时间主效应显著, $F(2,166) = 5.47, p < 0.001$ 。性别主效应($F(1,83) = 0.78, p = 0.38$)以及时间性别交互作用($F(2,166) = 2.39, p = 0.10$)差异不显著。第二次采样的唾液皮质醇浓度与其他两个时间点相比最高($p < 0.01$),如图 3。上述结果说明, TSST-C 作为一种标准化实验室心理应激对中国青少年应激应答和刺激皮质醇的

分泌是有效的。

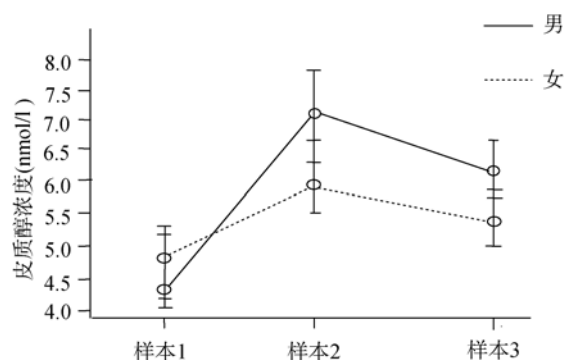


图 3 TSST-C 前后不同时间点男女唾液皮质醇浓度变化 (nmol/l, $M \pm SD$)

3.2 皮质醇 AUC_I , AUC_G 和 BART 指标值性别间比较

被试者男性 AUC_I 显著高于女性, $F(1,86) = 5.60, p = 0.02$, AUC_G 男女之间差异性不显著, $F(1,86) = 0.114, p = 0.35$, 调整平均充气数男性高于女性, $F(1,86) = 8.09, p < 0.01$, 总奖励金额女性高于男性, $F(1,86) = 4.05, p = 0.05$, 见表 1。

表 1 皮质醇 AUC_I , AUC_G 和 BART 指标值($M \pm SD$)的性别比较

| 测试指标 | 男($n = 48$) | 女($n = 39$) |
|------------------|-------------------|------------------|
| AUC_I (nmol/l) | 6.90 ± 6.17 | 3.75 ± 6.02 |
| AUC_G (nmol/l) | 44.58 ± 7.84 | 43.07 ± 6.97 |
| 调整平均充气数(次) | 29.64 ± 10.31 | 24.47 ± 5.04 |
| 总奖励金额(元) | 17.81 ± 2.19 | 19.18 ± 1.10 |

3.3 分性别皮质醇 AUC_I , AUC_G 和 BART 指标值的相关关系分析

被试者的 AUC_I 和 BART 指标值的相关关系分析结果显示男性 AUC_I 和调整平均充气数呈显著性正相关, 而和总奖励金额呈显著性负相关。女性 AUC_I 和总奖励金额呈负相关, 而和调整平均充气数相关性不显著。男性 AUC_G 仅和调整平均充气数呈正相关, 而和总奖励金额相关性不显著。女性 AUC_G 和调整平均充气数相关性, 总奖励金额相关性均不显著, 见表 2。

3.4 分性别不同皮质醇应答组 BART 指标值的比较

以男女 AUC_I 平均值为界限划分为皮质醇高应答组和低应答组, 本研究进行了 2(皮质醇应答水

表 2 分性别 AUC_i, AUC_G 和 BART 指标值的相关系数

| 测试指标 | 男 (n = 48) | | | | 女 (n = 39) | | | |
|-----------------------------|------------|-------|----------|---|------------|-------|-------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1.AUC _i (nmol/l) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2.AUC _G (nmol/l) | 0.45** | — | — | — | 0.23 | — | — | — |
| 3.调整平均充气数(次) | 0.66*** | 0.38* | — | — | -0.10 | -0.05 | — | — |
| 4.总奖励金额(元) | -0.43** | -0.25 | -0.73*** | — | 0.31* | -0.06 | -0.20 | — |

注：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

平：高、低)×2(性别)的方差分析，结果显示皮质醇应答和性别对调整平均充气数的交互作用显著， $F(1,86) = 11.58, p < 0.01$ ；皮质醇应答和性别对总奖励金额的交互作用显著， $F(1,86) = 6.49, p = 0.01$ 。分性别比较被试者应激下不同皮质醇应答组对 BART 指标值影响，结果表明男性高应答组($n = 22$)调整平均充气数($M \pm SD$: 34.70 ± 12.58)显著高于低应答组($n = 26$; $M \pm SD$: 25.80 ± 6.02), $F(1,47) = 6.53, p = 0.003$, 高应答组总金额奖励(元) ($M \pm SD$: 17.09 ± 26.57)显著低于低应答组 (18.38 ± 15.8), $F(1,47) = 6.90, p = 0.04$ ；女性高应答组($n = 19$)调整平均充气数($M \pm SD$: 23.14 ± 3.93)与低应答组($n = 20$; $M \pm SD$: 25.73 ± 5.73), 组间差异不显著, $F(1,38) = 2.08, p = 0.11$, 然而高应答组总金额奖励(元) ($M \pm SD$: 18.82 ± 11.07)显著高于低应答组(18.18 ± 10.36), $F(1,38) = 0.23, p = 0.04$, 如图 4、图 5。

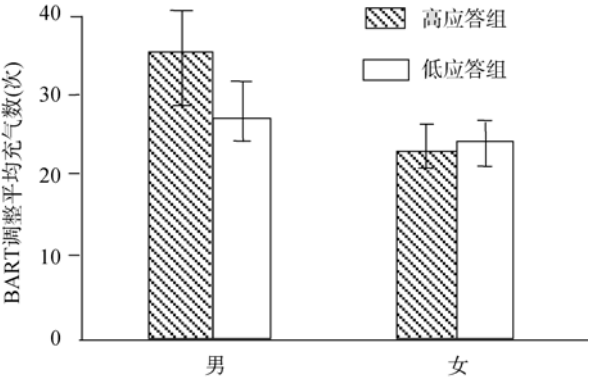


图 4 应激下不同皮质醇应答组 BART 调整平均充气数比较差异($M \pm SD$)

4 讨论

本研究旨在探讨中国青少年 TSST 激发下皮质醇应答水平是否和风险决策行为相关，以及皮质醇应答反应和风险决策行为的相关性是否存在性别差异。围绕这两个关键研究问题,本研究通过 TSST

激发前后皮质醇反应度 AUC_i 作为个体应激反应的重要生物指标，并要求被试者在应激状态下完成气球模拟风险决策任务(BART)。结果发现，男性青少年在 TSST-C 诱导下高皮质醇应答者表现为更高层次的冒险行为和更低的奖励金额，而女性青少年中高皮质醇应答者 BART 中有更高的奖励金额。

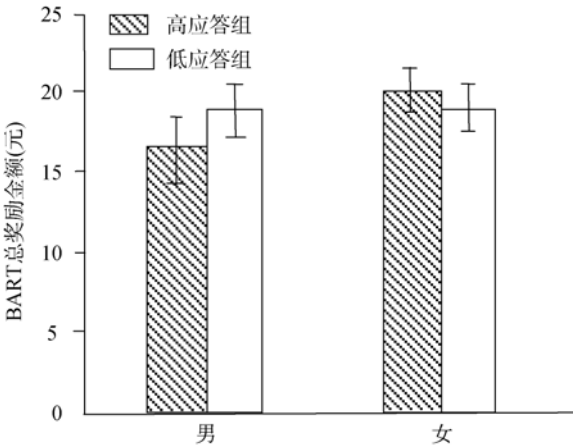


图 5 应激下不同皮质醇应答组对 BART 总奖励金额比较差异($M \pm SD$)

从客观指标上来看，唾液皮质醇水平被认为是检测被试者应激应答的重要客观指标，TSST (Kirschbaum, Pirke, & Hellhammer, 1993)作为针对西方人设计的一种应激情境，也是一种标准实验室心理应激测试工具，已经证明在中国被试者中也有良好的适用性(杨娟，侯燕，杨瑜，张庆林，2011)。TSST-C 作为本研究的社会心理应激，同样也可以有效激发中国青少年皮质醇应激应答和刺激皮质醇的分泌，同时也发现男性青少年应激下皮质醇反应度显著高于女性，结果和西方以往的研究相似 (Kirschbaum, Kudielka, Gaab, Schommer, & Hellhammer, 1999; Kudielka & Kirschbaum, 2005), 提示男性应激后更活跃的下丘脑活动和 HPA 轴的敏感性。尽管国内杨娟等(2011)发现高校大学生中

男性和女性在 TSST 应激情境下唾液皮质醇指标没有差异,然而结果的不一致也可能是皮质醇测量的时间点、皮质醇反应度的计算方法不同所造成。另外青少年和成年人在应对急性和慢性应激时,由于青少年受到青春期激素水平的突变的影响,HPA 轴活动和成人可能存在差异(McCormick & Mathews, 2007)。值得注意的是,虽然男性对普遍应激物的易感性高于女性,但也取决于应激物的种类,TSST 应激任务(包括:演讲、口头心算)属于与成就挑战相关的心理应激源,在这样的成就挑战应激中男性皮质醇水平显著高于女性(Stroud, Salovey, & Epel, 2002),而女性在社会抗拒应激中皮质醇水平高于男性,因此我们也推测女性在社会抗拒类似的应激下可能会从不同的方面影响风险决策。本研究被试者无论男性或女性在 TSST-C 结束后皮质醇含量显著高于其他时间点,由于唾液皮质醇的峰值一般出现在测试后 10 min 后(Kirschbaum et al., 1993),我们在 TSST 结束后开始进行 BART 任务,目的是为了达到使皮质醇浓度升高和 BART 进行过程尽可能同步。另外本研究结果显示虽然皮质醇应激后曲线下总面积(AUC_G)和男性调整平均充气数呈正相关关系,然而应激前基线皮质醇的水平面积(AUC_B) 在男性或女性中和调整平均充气数与奖励总金额相关关系均不显著(结果未显示),因此提示 AUC_I 作为应激下关键的生物应激应答指标可反应男性和女性的风险决策行为。

本研究结果发现男性青少年在 TSST 诱导下皮质醇反应度显著高于女性,男性高皮质醇应答者 BART 中表现为更程度的冒险行为和更低的总奖励金额,而女性青少年中高皮质醇应答者 BART 中有更高的奖励金额。男性高皮质醇应答者表现出更倾向于直接充气企图获得更多的奖励,而相比之下女性高皮质醇应答者则倾向于充气和奖励金额的平衡,提示应激下皮质醇反应度与冒险行为的联系存在性别差异。本研究结果显示的男性应激下皮质醇应答和风险决策行为之间的关系与 Putman 等(2010)发现的药理应激下男性外生性皮质醇水平升高表现为冒险行为增加的结果一致,同样也支持以往的观点,即皮质醇的急性分泌可刺激奖赏寻求和风险决策行为(Mantsch & Katz, 2007; Wohl, Matheson, Young, & Anisman, 2008; van den Bos et al., 2009),可能和 HPA 轴功能紊乱以及 HPA 轴介导的多巴胺能中缘脑的奖赏系统过敏化有关(Koob & Kreek, 2007; Sinha, 2008)。然而,这一现象只在

男性中存在的原因可能部分来自于性别之间左右大脑活动区域的差异。男性在执行风险决策任务(IGT)时,右脑前额叶皮层活动度显著高于左脑,而在女性中这一现象似乎不存在(Bolla, Eldreth, Matochik, & Cadet, 2004)。另外使用脑功能成像技术发现男性急性应激下右前额叶皮层的脑血流量增加,而女性主要激活的是腹侧纹状体,壳核,脑岛和扣带皮层区域(Wang, Korkcykowski, & Rao, 2007)。与此同时,右脑前额皮层对皮质醇的敏感性也更强,可影响前额区域多巴胺的调控(Lueken et al., 2009; Stalnaker, Espana, & Berridge, 2009; Sullivan & Dufresne, 2006),在 TSST 这样的成就挑战类型的应激下,男性皮质醇分泌水平本身显著高于女性,因此男性在执行 BART 任务时伴随右前额区域活动性增加的同时也面临着高皮质醇水平作用于右脑 PFC,导致右脑前额区域资源消耗过度从而失去对皮质下区域控制(Erickson et al., 2003; Piazza & Le Moal, 1997)。由于人类右脑前额叶皮层对调节冒险行为相当关键,高活动度与冒险行为的规避相关,而低活动度与冒险行为相关(Fecteau et al., 2007; Knoch et al., 2006),因此不难推测应激状态下皮质醇应答水平和风险决策行为之间的关系在男性中有显著性意义。同时本研究结果显示虽然女性中高皮质醇应答者充气数和低皮质醇应答者无显著性差异,然而前者奖励金额却显著高于后者,从而推测急性应激下一定程度的皮质醇应答水平的增加可能加强了女性右脑前额皮层区域的活动,从而促进冒险行为的规避,即更倾向于充气和奖励金额的平衡。然而本研究还尚未涉足相关脑区活动影像研究,因大脑区域活动的不同引起的性别间差异需要我们未来进一步更精确的相关实验来证实。另外一方面,从应激状态来讲,风险决策行为的性别差异也可能来自于男女在应激时分泌不同的激素,如有研究认为男性应激下可促进睾酮素的分泌,表现为行为上的进攻和侵略(Girdler, Jamner, & Shapiro, 1997),而女性应激状态下可促进催产素释放而起到镇静作用(Neumann, 2008),表现出和典型的“抗争或逃避”相反的行为。

青少年是伴随冒险行为出现并增加的年龄段,包括物质滥用,犯罪等不良行为(Scott & Steinberg, 2008)。研究表明儿童参与冒险行为的频次会随着年龄的增长而增多,直到青少年时期达到顶峰(Boyer, 2006; Gardner & Steinberg, 2005),虽然一些行为被认为是发育性过渡行为,然而一部分青少

年因冒险行为使与之相关的发病率和死亡率大大增加,并持续整个青春期直至成年(Brook et al., 2004; Colman, Croudace, Wadsworth, & Jones, 2008; Scott & Steinberg, 2008; Sourander et al., 2007)。本研究可帮助我们进一步认识应激下人体生物学指标-皮质醇应答与青少年风险决策行为之间联系以及性别差异。值得注意的是,中国青少年皮质醇应答与风险决策行为联系的性别差异与国外研究结果类似, van den Bos 等(2009)使用同样的心理应激源发现成人男性应激下高皮质醇应答者表现出更高的冒险行为,而女性皮质醇反应度轻微升高者趋向于更权衡的决策表现,提示青少年已具备类似成人应激状态下皮质醇应答和风险决策的联系模式,并同样存在性别差异。TSST-C 作为一种对人体侵入性很小的心理应激手段,使我们能够通过标准实验室测量手段更好地模拟青少年日常社会活动中的心理应激反应。然而,由于不同个体对应激会产生不同的生理应激应答,皮质醇反应度很大程度上依赖于个体所处的环境和生活背景(Ellis & Boyce, 2008; Obradovic, Bush, Stamperdahl, Adler, & Boyce, 2010),如儿童青少年父母亲冷漠养育(Roisman et al., 2009),这些生活环境的差异会直接影响个体对应激的应对方式和皮质醇反应水平。因此我们的研究也需要结合个体所处的特定环境去解释不同个体的应激生物应答和行为学之间的反应差异,以便我们能更好的理解机体应激应答与风险决策行为之间的相关关系,然而本研究设计中尚未涉及此方面,除此之外,未来的研究仍然需要关注不同种类的应激源对中国青少年风险决策影响及性别差异。最后,由于本研究没有操纵皮质醇水平,因此尚不能从真正实验学角度来回答皮质醇应答对风险决策影响,因此今后的相关研究可考虑增加控制组进行比对,使得类似结论更加具备说服力。

5 结论

本研究的主要结论是 TSST 应激下皮质醇反应度与风险决策行为相关性之间存在性别差异,男性中高皮质醇应答者 BART 表现为更程度的冒险行为和更低的总奖励金额,而女性中高皮质醇应答者 BART 表现为更高的总奖励金额。

致谢: 感谢审稿专家的意见和建议。感谢徐州市中学生卫生保健所张兆成所长提供的鼎力帮助。感谢徐州市第 13 中学的学生老师们对研究的全力配合。

参 考 文 献

- Adam, T. C., & Epel, E. S. (2007). Stress, eating and the reward system. *Physiology Behavior*, 91(4), 449–458.
- Bogdan, R., & Pizzagalli, D. A. (2006). Acute stress reduces reward responsiveness: Implications for depression. *Biology Psychiatry*, 60(10), 1147–1154.
- Bolla, K. I., Eldreth, D. A., Matochik, J. A., & Cadet, J. L. (2004). Sex-related differences in a gambling task and its neurological correlates. *Cerebral Cortex*, 14(11), 1226–1232.
- Bornoalova, M. A., Cashman-Rolls, A., O'Donnell, J. M., Ettinger K., Richards J. B., Dewit H., & Lejuea, C. W. (2009). Risk taking differences on a behavioral task as a function of potential reward/loss magnitude and individual differences in impulsivity and sensation seeking. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 93(3), 258–262.
- Boyer, T. W. (2006). The development of risk taking: A multiperspective review. *Developmental Review*, 26(3), 291–345.
- Breen, R. B., & Zuckerman, M. (1999). 'Chasing' in gambling behavior: Personality and cognitive determinants. *Personality and Individual Differences*, 27(6), 1097–1111.
- Brook, J. S., Adams, R. E., Balka, E. B., Whiteman, M., Zhang, C., & Sugerman, R. (2004). Illicit drug use and risky sexual behavior among african american and puerto rican urban adolescents: The longitudinal links. *The Journal of Genetic Psychology*, 165(2), 203–220.
- Colman, I., Croudace, T. J., Wadsworth, M. J., & Jones, P. B. (2008). Factors associated with antidepressant, anxiolytic and hypnotic use over 17 years in a national cohort. *Journal of Affective Disorders*, 110(3), 234–240.
- Dickerson, S. S., & Kemeny, M. E. (2004). Acute stressors and cortisol responses: A theoretical integration and synthesis of laboratory research. *Psychological Bulletin*, 130(3), 355–391.
- Ellis, B. J., & Boyce, W. T. (2008). Biological sensitivity to context. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 183–187.
- Erickson, K., Drevets, W., & Schulkin, J. (2003). Glucocorticoid regulation of diverse cognitive functions in normal and pathological emotional states. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27(3), 233–246.
- Fecteau, S., Knoch, D., Fregni, F., Sultani, N., Boggio, P., & Pascual-Leone, A. (2007). Diminishing risk-taking behavior by modulating activity in the prefrontal cortex: A direct current stimulation study. *The Journal of Neuroscience*, 27(46), 12500–12505.
- Fekedulegn, D. B., Andrew, M. E., Burchfiel, C. M., Biolanti, J. M., Hartley, T. A., Charles, L. E., & Miller, D. B. (2007). Area under the curve and other summary indicators of repeated waking cortisol measurements. *Psychosomatic Medicine*, 69(7), 651–659.
- Gardner, M., & Steinberg, L. (2005). Peer influence on risk taking, risk preference, and risk decision on making in adolescence and adulthood: An experimental study. *Developmental Psychology*, 41(4), 625–635.
- Girdler, S. S., Jamner, L. D., & Shapiro, D. (1997). Hostility, testosterone, and vascular reactivity to stress: Effects of sex. *International Journal of Behavioral Medicine*, 4(3), 242–263.
- Granger, D. A. (2012). Focus on methodology: Salivary bioscience and research on adolescence: An integrated perspective. *Journal of Adolescence*, 35(4), 1081–1095.
- Kirschbaum, C., Kudielka, B. M., Gaab, J., Schommer, N. C., & Hellhammer, D. H. (1999). Impact of gender, menstrual

- cycle phase, and oral contraceptives on the activity of the hypothalamus–pituitary–adrenal axis. *Psychosomatic Medicine*, 61(2), 154–162.
- 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(1), 76–81.
- Knoch, D., Gianotti, L. R., Pascual-Leone, A., Treyer, V., Regard, M., Hohmann, M., & Brugger, P. (2006). Disruption of right prefrontal cortex by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation induces risk-taking behavior. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 26(24), 6469–6472.
- Koob, G., & Kreek, M. J. (2007). Stress, dysregulation of drug reward pathways, and the transition to drug dependence. *The American Journal of Psychiatry*, 164(8), 1149–1159.
- Kovacs, M. (1992). *Children's Depression Inventory (CDI)* (pp. 15–25). Toronto, ON: Multi-Health Systems.
- Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: A review. *Biological Psychology*, 69(1), 113–132.
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., & Stuart, G. L. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology Applied*, 8(2), 75–84.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Daughters, S. B., Zvolensky, M. J., Kahler, C. W., & Gwadz, M. (2007). Reliability and validity of the youth version of the Balloon Analogue Risk Task (BART-Y) in the assessment of risk-taking behavior among inner city adolescents. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 36(1), 106–111.
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Zvolensky, M. J., & Pedulla, C. M. (2003). Evaluation of the Balloon Analogue Risk Task (BART) as a predictor of adolescent real-world risk-taking behaviours. *Journal of Adolescence*, 26(4), 475–479.
- Lighthall, N. R., Mather, M., & Gorlick, M. A. (2009). Acute stress increases sex differences in risk seeking in the Balloon Analogue Risk Task. *PLoS One*, 4(7), e6002.
- Lighthall, N. R., Sakaki, M., Vasunilashorn, S., Nga, L., Somayajula, S., Chen, E. Y., Mather, M. (2012). Gender differences in reward-related decision processing under stress. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(4), 476–484.
- Lovall, W. (1975). The cold pressor test and autonomic function: A review and integration. *Psychophysiology*, 12(3), 268–282.
- Lueken, U., Leisse, M., Mattes, K., Naumann, D., Wittling, W., & Schweiger, E. (2009). Altered tonic and phasic cortisol secretion following unilateral stroke. *Psychoneuroendocrinology*, 34(3), 402–412.
- Mantsch, J. R., & Katz, E. S. (2007). Elevation of glucocorticoids is necessary but not sufficient for the escalation of cocaine self-administration by chronic electric footshock in rats. *Neuropsychopharmacology*, 32(2), 367–376.
- McCormick, C. M., & Mathews, I. Z. (2007). HPA function in adolescence: Role of sex hormones in its regulation and the enduring consequences of exposure to stressors. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, 86(2), 220–233.
- Millstein, S. G., & Halpern-Felsher, B. L. (2002). Perceptions of risk and vulnerability. *The Journal of Adolescent Health*, 31(1 Suppl), 10–27.
- Natsuaki, M. N., Klimes-Dougan, B., Ge, X., Shirliff, E. A., Hastings, P. D., & Zahn-Waxler, C. (2009). Early pubertal maturation and internalizing problems in adolescence: Sex differences in the role of cortisol reactivity to interpersonal stress. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 38(4), 513–524.
- Neumann, I. D. (2008). Brain oxytocin: A key regulator of emotional and social behaviours in both females and males. *Journal of Neuroendocrinology*, 20(6), 858–865.
- Newman, E., O'Connor, D. B., & Conner, M. (2007). Daily hassles and eating behaviour: The role of cortisol reactivity status. *Psychoneuroendocrinology*, 32(2), 125–132.
- Obradovic, J., Bush, N. R., Stamperdahl, J., Adler, N. E., & Boyce, W. T. (2010). Biological sensitivity to context: The interactive effects of stress reactivity and family adversity on socioemotional behavior and school readiness. *Child Development*, 81(1), 270–289.
- Ossewaarde, L., Qin, S., Van Marle, H. J., van Wingen, G. A., Fernández, G., & Hermans, E. J. (2011). Stress-induced reduction in reward-related prefrontal cortex function. *Neuroimage*, 55(1), 345–352.
- Piazza, P. V., & Le Moal, M. (1997). Glucocorticoids as a biological substrate of reward: Physiological and pathophysiological implications. *Brain Research Reviews*, 25(3), 359–372.
- Porcelli, A. J., & Delgado, M. R. (2009). Acute stress modulates risk taking in financial decision making. *Psychological Science*, 20(3), 278–283.
- Preston, S. D., Buchanan, T. W., Stansfield, R. B., & Bechara, A. (2007). Effects of anticipatory stress on decision making in a gambling task. *Behavioral Neuroscience*, 121(2), 257–263.
- 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(7), 916–931.
- Putman, P., Antypa, N., Cryovergi, P., & van der Does, W. A. (2010). Exogenous cortisol acutely influences motivated decision making in healthy young men. *Psychopharmacology*, 208(2), 257–263.
- Roisman, G. I., Susman, E., Barnett-Walker, K., Booth-LaForce, C., Owen, M. T., Belsky, J., ...Network, N. E. (2009). Early family and child-care antecedents of awakening cortisol levels in adolescence. *Child Development*, 80(3), 907–920.
- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., & Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21(1), 55–89.
- Scott, E. S., & Steinberg, L. (2008). Adolescent development and the regulation of youth crime. *The Future of Children*, 18(2), 15–33.
- Sinha, R. (2008). Chronic stress, drug use, and vulnerability to addiction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1141, 105–130.
- Sourander, A., Jensen, P., Davies, M., Niemelä, S., Elonheimo, H., Ristkari, T. (2007). Who is at greatest risk for adverse long-term outcomes? The Finnish from a boy to a man study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 46(9), 1148–1161.
- Stalaker, T. A., Espana, R. A., & Berridge, C. W. (2009).

- Coping behavior causes asymmetric changes in neuronal activation in the pre-frontal cortex and amygdala. *Synapse*, 63(1), 82–85.
- Starcke, K., Wolf, O. T., Markowitsch, H. J., & Brand, M. (2008). Anticipatory stress influences decision making under explicit risk conditions. *Behavioral Neuroscience*, 122(6), 1352–1360.
- Stroud, L. R., Salovey, P., & Epel, E. S. (2002). Sex differences in stress responses: Social rejection versus achievement stress. *Biological Psychiatry*, 52(4), 318–327.
- Sullivan, R. M., & Dufresne, M. M. (2006). Mesocortical dopamine and HPA axis regulation: Role of laterality and early environment. *Brain Research*, 1076(1), 49–59.
- Taylor, S. E., Klein, L. C., Lewis, B. P., Gruenewald, T. L., & Gurung, R. A. (2000). Biobehavioral responses to stress in females: Tend-and-befriend, not fight-or-flight. *Psychological Review*, 107(3), 411–429.
- van den Bos, R., Harteveld, M., & Stoop, H. (2009). Stress and decision-making in humans: Performance is related to cortisol reactivity, albeit differently in men and women. *Psychoneuroendocrinology*, 34(10), 1449–1458.
- Wang, J., Korczykowski, M., & Rao, H. (2007). Gender difference in neural response to psychological stress. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(3), 227–239.
- Weitzman, E. D., Fukushima, D., Nogueira, C., Roffwarg, H., Gallagher, T. F., & Hellman, L. (1971). Twenty-four hour pattern of the episodic secretion of cortisol in normal subjects. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 33(1), 14–22.
- Wohl, M. J., Matheson, K., Young, M. M., & Anisman, H. (2008). Cortisol rise following awakening among problem gamblers: Dissociation from comorbid symptoms of depression and impulsivity. *Journal Gambling Studies*, 24(1), 79–90.
- Yang, J., Hou, Y., Yang, Y., & Zhang, Q. L. (2011). Impact of trier social stress test (TSST) on salivary cortisol secretion. *Acta Psychologica Sinica*, 43(4), 403–409.
- [杨娟, 侯燕, 杨瑜, 张庆林. (2011). 特里尔社会应激测试 (TSST) 对唾液皮质醇分泌的影响. *心理学报*, 43(4), 403–409.]

Cortisol Reactivity to Stress and Decision-making in Adolescents: There is Gender Difference

LU Qingyun^{1,2}; TAO Fangbiao¹; HOU Fangli¹; SUN Ying¹

(¹ Department of Maternal, Child and Adolescent Health, Anhui Medical University, Hefei 230032, China)

(² Department of Child and Adolescent Health, Nantong University, Nantong 226009, China)

Abstract

Acutely elevated levels of cortisol are associated with euphoria and reward-like properties related to sensation-seeking behavior. Moreover, research suggested cortisol response had different effects on risk taking in males and females. The main purpose of this research was to test whether cortisol reactivity to stress was associated with decision-making and there had the gender difference.

Healthy junior school students performed the Trier Social Stress Test (TSST), and the objective measure-salivary cortisol at different time points were assessed. Then, participants played a Balloon Analogue Risk Task (BART) to measure decision-making after completing TSST.

The results showed that male participants exhibited a significant increase in salivary cortisol reactivity following the TSST compared to female. Furthermore, while males with high responders showed more risk-taking behavior and lower monetary reward in the BART compared to low responders, females with high responders did report higher monetary reward compared to low responders.

In conclusion, this study demonstrated that cortisol reactivity to acute stress as induced by the TSST was related to decision-making behavior of males and females differently. Especially, in males, higher cortisol reactivity was associated with risk-taking performance in BART. In females, elevated reactivity of cortisol after the TSST was associated with higher BART scores.

Key words cortisol reactivity; decision-making; adolescents