

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：急性应激损伤错误监控与错误后调整

作者：胡娜，陈安涛，王宴庆，李晴，许珍珍，龙泉杉

第一轮

审稿人 1 意见：

意见 1：应激对认知加工的调节是当前的热点问题，作者为（未）能够对这方面的研究有很好的把握，没有能够将本研究的研究目的和假设与已有研究的理论和意义结合，在引言部分显得简单没有深入的理论基础和现实意义。

回应：感谢审稿专家的建议。因为当前对于应激下的错误加工的研究还较少，我们是在参考以往涉及错误加工脑区的基础上形成的预期与假设，所以引言部分我们尚且还不足以形成较强的理论假设，所以我们仅在讨论部分对结果进行了比较深入的讨论和分析，从理论和现实意义的角度阐述了本研究的价值。此外，我们修改了引言部分的第二段，我们补充了新的研究证据，并结合应激下的脑机制来预测应激下的错误加工过程。

意见 2：引言部分缺乏理论基础，且论证较为表面不深入，重点不突出，需要重新梳理。例如：既然文章标题采用“急性应激损伤错误监控与错误后调整”引言部分有必要分开论述错误监控与错误后调整的不同的认知神经机制，而不是只论述错误后适应性调整。况且只是简单地提及了 ACC 和 dlPFC。关于 ACC 脑区不同研究间也存在争论，有研究发现不光是错误的反应有 ACC 激活，正确反馈的 ACC 同样激活。而且关于错误加工的神经机制也存在不同的解释，如错误检测，强化学习理论。需进一步深入探讨。

回应：感谢审稿专家的建议，我们确实只在这部分对错误监控和错误后调控进行了简要论述。

（1）关于错误加工的脑区和理论上的争议，本研究将不做展开，因为我们的研究重点在考察应激下的错误加工过程，研究的目的不在于解决相似理论之间的争议。我们将有关错误监控与错误后调控的理论具体到了经典的冲突监控理论，对错误加工过程进行了更加完整和具体的表述。（2）在上一个版本的手稿中，关于 ACC 和 dlPFC 的功能，我们参照的是普遍的研究结论，例如王丽君(2013)的综述研究。考虑到我们的研究仅涉及行为层面，尚且不能解决脑区机制或者争议上的问题，我们对脑机制的解释也将基于冲突监控理论来展开。

王丽君, 徐雷, 伍姗姗, 谭金凤, & 陈安涛. (2013). 错误后减慢理论模型述评. *心理科学进展*, 21(3).

意见 3：该研究使用的研究范式错误意识任务（error awareness task, EAT）与经典的错误意识任务的描述存在出入，详见“the second was if the word and font of the word did not match (Stroop NoGo)”但本研究中描述为“当前颜色字的字体颜色和字义一致时，不做按键反应（颜色 no-go 试次）”请论述修改的原因。

回应：非常抱歉我们未将错误意识范式示意图附上，我们现在已经将图片附在文中。我们采用的错误意识任务与以往采用的范式一致，本研究主要参照的是 Robert 等人(2012)发表于 *The Journal of Neuroscience* 的“Neurochemical Enhancement of Conscious Error Awareness”。关于任务的具体规则，现在确实存在两套试次编排规则。其中一套，将 stroop congruence 试次作为 go 试次，将相同的相继试次与 incongruence 试次作为 nogo 试次，具体见图 1；另一

套，则将 stroop incongruence 试次作为 go 试次，相继试次词义一致和 congruence 试次作为 nogo 试次，详见图 2。我们选择了第二套作为本研究的实验规则，原因在于我们在使用第一套规则进行预实验时，被试的正确率普遍偏高，我们未能测量到足够多的错误试次。而在第二套规则上，我们测量到了更多的错误试次，符合了本实验对试次数量的要求。因为大学生的认知加工水平偏高，为了获取足够的错误反应试次以提高本实验的信效度，我们选择了第二套规则。

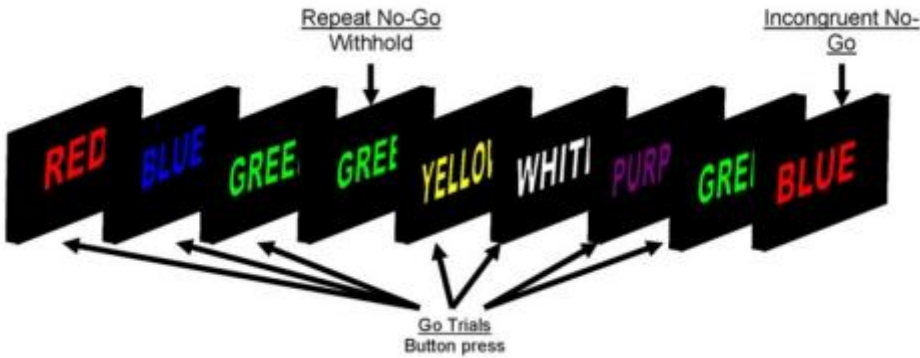


图 1 错误意识范式（1）示意图

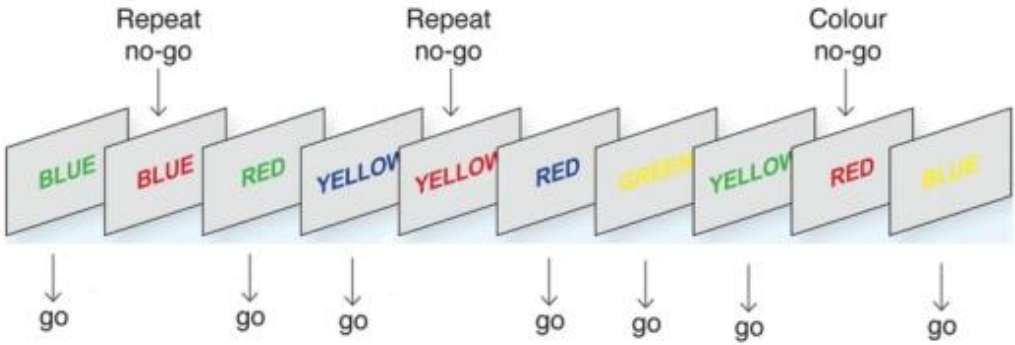


图 2 错误意识范式（2）示意图

意见 4：应激组在错误意识正确率上显著低于控制组，错误意识反应时显著快于控制组，作者在讨论部分只论述了前半部分结果，对于后半部分结果，以及两者之间的联系，作者并未在讨论中论述。

回应：非常抱歉我们遗漏了错误意识反应显著快于控制组的部分。（1）个体错误意识的形成依赖于多重信息的整合，包括自下而上的信息累积和自上而下的主观评估(Dehaene et al., 2006; Hewig, Coles, Trippe, Hecht, & Miltner, 2011)。因为任务表征、目标和背景信息存储于前额叶(Rushworth, Walton, Kennerley, & Bannerman, 2004)，这个过程无疑受到执行网络的调节。应激会导致背外侧前额叶功能减弱，这会客观上干扰错误信号的辨别，导致个体更难以觉察自己的错误反应。（2）在我们的研究中，应激组的 nogo 任务正确率低于控制组，且 go 试次反应时短于控制组($p=0.064$)，这与以往同类型研究的结果相似。Wu(2010)的研究发现，创伤后应激障碍的青少年在完成反应抑制任务时，nogo 试次正确率更低，个体的 go 任务反应时更快。结合已有的脑成像研究，我们发现创伤后应激障碍个体的运动区兴奋度更高，这会增强反应的冲动性加工或者运动预备(Falconer et al., 2008)。也就是说，应激个体处于冲动性反应模式下，个体的反应速度加快，但正确率下降。在运动兴奋性提高的情况下，错误意识反应这种单一按键的优势反应，也会受到运动预备增强而导致按键速度加快。为此，我们认

为个体错误意识降低但反应加快是执功能受损和运动区运动反应预备增强导致的结果。

- Dehaene, S., Changeux, J. P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends Cogn Sci. Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204-211
- Falconer, E., Bryant, R., Felmingham, K. L., Kemp, A. H., Gordon, E., & Peduto, A., et al. (2008). The neural networks of inhibitory control in posttraumatic stress disorder. *Journal of psychiatry & neuroscience: JPN*, 33(5), 413.
- Hewig, J., Coles, M. G. H., Trippe, R. H., Hecht, H., & Miltner, W. H. R. (2011). Dissociation of Pe and ERN/Ne in the conscious recognition of an error. *Psychophysiology*, 48(10), 1390-1396
- Rushworth, M., Walton, M. E., Kennerley, S. W., & Bannerman, D. M. (2004). Action sets and decisions in the medial frontal cortex. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 410-417
- Wu, J., Ge, Y., Shi, Z., Duan, X., Wang, L., & Sun, X., et al. (2010). Response inhibition in adolescent earthquake survivors with and without posttraumatic stress disorder: a combined behavioral and ERP study. *Neuroscience Letters*, 486(3), 117-121.

意见 5: 数据分析只分析 No-go 条件下的错误率，go 条件下正确错误率如何？各个条件下的正确率和反应时是否都应该都给出描述统计？

回应: 根据审稿专家的建议，我们在研究中补充了 go 条件的正确率和不同的 no-go 条件的正确率和反应时数据，详见表 1。分析结果显示，两组被试的 go 试次正确率并不存在显著差异，在颜色 no-go 试次上两组被试的正确率均显著低于重复 no-go 试次，重复 no-go 试次的反应时也长于颜色 nogo 试次。该范式是通过操纵 no-go 与 go 试次的比例从而使被试更难以抑制 go 的优势反应，以增加反应抑制的难度，达到测量足够错误反应试次的目的。两种 nogo 试次对应的虽然是两种规则，但均以颜色词本身和相继词语之间的一致性来做判断。在试次类型的差异上，我们的结果显示被试在颜色 no-go 试次上的表现差于重复 no-go 试次。事实上我们的结果与已知的采用同样规则的研究一致，这两种试次的难度并不相同。进一步地，我们也发现两组被试在两种 nogo 试次上的正确率和反应时并无显著差异，这说明不同组被试加工这两种 no-go 试次的过程相似，我们可以排除不同 no-go 试次对应激下反应抑制的调节。

意见 6: 在相关分析部分，因为负性情绪与错误意识正确率存在显著的负相关，作者得出结论“应激组在应激下的负性情绪能够显著地负向预测错误意识正确率”缺乏严谨性，相关显著只能代表两个变量之间存在很强的联系，变量之间是平等的关系。若想论证因果关系，需要呈现回归分析结果，并报告效果量。

回应: 感谢审稿专家的建议，我们在相关分析的基础上，进一步对数据进行了逐层回归分析。我们采用应激后 $t = 0$ 和 $t = 10$ 的应激响应指标对错误意识率进行了逐层回归分析。结果显示仅在应激组中，0min 时间点负性情绪可以解释错误意识率 13.90% 的变异量， $\beta = -0.42$ ， $F(1, 24) = 5.04$ ， $p = 0.034$ 。这说明，应激下的负性情绪对错误意识具有一定的预测力。

意见 7: 假设文中对 no-go 的两种规则定义是准确的，那么该研究只考察了没有认知冲突的错误加工，应该再进一步考察有认知冲突的错误加工的条件。若是笔者笔误，与经典范式一致，那么有认知冲突与无认知冲突的结果需要都呈现出来。

回应: 我们采用的范式参考了 Robert 等人(2012)发表于 *The Journal of Neuroscience* 的“Neurochemical Enhancement of Conscious Error Awareness”。我们对两种 no-go 试次的定义均

没有错误，并且我们在结果部分新增了不同 no-go 试次类型的正确率、反应时以及错误意识任务的反应时与正确率的分析。我们对结果的分析也在参照以往研究的基础上完成，考虑到本研究的目的也在于考察错误意识与错误后加工，仅对 nogo 试次上的错误试次进行意识水平以及错误后加工的比较。（1）实际上，两种 no-go 试次的加工过程也存在一定的差异。但是我们将不同 no-go 试次上的正确率、错误试次反应时、错误意识正确率和反应时都进行比较分析之后，发现试次类型与组别的交互效应不显著，也就是说 no-go 试次类型并不会调节应激下的反应抑制与错误意识水平；（2）此外，考察冲突试次（go 试次）的错误加工是不实际的，因为 nogo 试次之间最少有 4 个 go 试次用以计算错误后加工，对 go 错误无法进行错误后行为的比较。以 nogo1, go1, go2, go3, go4, nogo2 序列为例，当 go3 反应错误（未按键），在 go4 上做出错误意识标记时，nogo2 作为错误后第一个试次，我们无法获得其反应时。

意见 8：图 4-2 未标显著性，单从图中来看，正确率也存在显著差异。

回应：听从审稿专家的意见，我们对错误后第二个试次上的正确率重新进行了分析，结果显示数据的统计分析结果依然一致，这部分的数据并不存在显著差异。因为数据值较小，我们选择的标尺较小，实际上控制组在未意识到错误的试次上比其他条件只低了两个百分点。

意见 9：参考文献应尽可能引用最近 5 年的文献

回应：谢谢审稿专家的建议，我们已经相应地将一部分陈旧文献替换为了最近 5 年的文献。

审稿人 2 意见：

意见 1：在错误意识任务上，应激组的正确率低于控制组，但同时反应时快于控制组，是否能够据此认为应激组的错误意识相对控制组受到损害呢？这里面可能存在着 speed-accuracy tradeoff (SAT)和冲动的反应特性。可以参考如下文献或者相关文献：Wu, J., et al. (2010). "Response inhibition in adolescent earthquake survivors with and without posttraumatic stress disorder: a combined behavioral and ERP study." *Neurosci Lett* 486(3): 117-121.

回应：感谢审稿专家给予的建议。我们认真参阅这篇后，发现创伤后应激障碍个体 go 试次反应时偏快，nogo 试次正确率下降与本研究一致，这说明本研究中应激个体在反应抑制上的损坏也可能是冲动性加工方式导致的。需要注意的是，go 任务与错误意识任务的加工过程差异较大：应激下个体更快的按键反应导致了 nogo 试次的正确率也下降，也就是说个体在正确率与反应时的权衡上偏向于更短的反应时；完成错误意识任务所依赖的信息来源于自下而上的信息累积和自上而下的主观评估(Dehaene et al., 2006; Hewig, Coles, Trippe, Hecht, & Miltner, 2011)，当这个加工过程受到干扰，个体对错误信号的觉察水平就会下降。此处以速度与正确性权衡的观点来解释的话，可能不妥，因为（1）错误信号的辨别与意识依赖于前额叶，因为前额叶负责任务表征、目标和背景信息的存储 (Rushworth, Walton, Kennerley, & Bannerman, 2004)。以往许多研究显示应激会导致背外侧前额叶功能减弱，这会客观上干扰错误反应的辨别。也就是说，个体是否做出意识判断并不单纯取决于个体的速度与准确性权衡；（2）应激个体意识反应的加快也可能源于应激后的运动区的兴奋性提高。因为运动区的兴奋性提升会导致运动预备(motor readiness)的增强，错误意识反应键实际上也是单一的优势反应，当个体发现自己的错误反应，运动预备也会加快按键速度。在此处，我们认为个体意识反应加快但正确率下降应该视为执行功能受损和运动区运动反应预备增强共同导致的结果。

- Dehaene, S., Changeux, J. P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends Cogn Sci. Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204-211
- Hewig, J., Coles, M. G. H., Trippe, R. H., Hecht, H., & Miltner, W. H. R. (2011). Dissociation of Pe and ERN/Ne in the conscious recognition of an error. *Psychophysiology*, 48(10), 1390-1396
- Rushworth, M., Walton, M. E., Kennerley, S. W., & Bannerman, D. M. (2004). Action sets and decisions in the medial frontal cortex. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 410-417

意见 2: 应激组意识到和未意识到错误, 对错误后正确率有显著影响。但这种情况在控制组中没有出现。作者首先应该说明在通常情况下(控制组所代表的), 错误意识对错误后调整没有影响。进一步讨论解释, 为何在应激组中错误意识受损的情况下, 错误意识对错误后调整的影响表现出来了。比如天花板效应的问题?

回应: 感谢审稿专家给予的建议。我们在讨论部分增加了在通常情况下错误意识对错误后调整影响的阐述。(1) 事实上, 多数发现错误后正确率提升的研究均采用了试次间隔在 900ms 以上的实验任务。在经典 EAT 范式中, 错误试次和错误意识反应与错误后第一个试次的间隔为 700ms。依据错误后加工的干扰理论(interference accounts), 错误监控会导致个体在犯错后的短时间内将注意力集中于错误反应, 在试次间间隔较短的情况下, 这种对错误反应的持续注意会占用随后试次的加工资源, 从而导致错误后加工水平下降。相较于意识到错误的试次, 个体未意识到错误时, 并不会将注意力集中于错误反应上, 个体在错误反应之后依然能对下一试次保留较多的注意资源。在我们的研究中, 虽然只有应激组在意识到错误后的第一个试次上出现了正确率的显著下降, 但控制组也存在正确率下降的趋势, 这符合错误后加工的干扰理论的假设, 且与一些已有研究结果一致(Buzzell, Beatty, Paquette, Roberts, & McDonald, 2017)。(2) 控制组可能对错误反应持有更灵活的应对方式。Buzzell 等人(2017)的研究显示错误反应后的 200 ~ 533ms 内错误后行为的干扰效应最大, 当试次间逐渐间隔延长时, 干扰效应逐渐减低, 个体对错误后反应的调控将逐步增强。由此可以推断, 在 700ms 的试次间隔下, 个体的注意资源不仅投放在了错误反应上, 也在逐步转移到错误后行为的调节上。也就是说, 处于良好认知加工状态的个体可能对错误反应持有更灵活的应对方式, 认知加工资源在错误信号加工与错误后调控的配置上更加灵活。(3) 控制组可能存在天花板效应。在我们使用本范式之前, 我们使用了更简单的颜色词 stroop no/no-go 任务。不同于以往研究, 被试们的反应正确率颇高, 导致错误试次数量满足不了研究的信效度。即便采用了本研究范式, 与以往研究相比, 控制组被试意识到错误后反应正确率偏高, 且与未意识到错误后反应正确差异更小。被试的认知加工(认知控制)水平较高是选用大学生被试的普遍问题, 未来研究可以考虑酌情提高任务难度以更好地揭示应激下的错误意识与错误后调控过程。

Buzzell, G. A., Beatty, P. J., Paquette, N. A., Roberts, D. M., & McDonald, C. G. (2017). Error-induced blindness: error detection leads to impaired sensory processing and lower accuracy at short response-stimulus intervals. *Journal of Neuroscience*, 37(11), 2895-2903.

意见 3: 对于应激组, 意识到错误相比未意识到错误, 导致随后试次的正确率更低。这是一个很有意义的研究发现, 说明是错误意识导致了行为调整能力的降低; 应激与意识到错误, 二者可能加剧了资源竞争, 导致错误后调整更差。而这里得到的结论, 在“即便在辨别出错误反应的情况下, 应激组的行为监控与调节也更差”, 一方面, 这需要由应激组和控制组对比才能得出; 另外一方面, 对于这个结果可以作出更有意思的讨论。

回应: 感谢审稿专家的意见, 对该部分的讨论进行了修改。在前一个版本的稿件中, 我们将

重心放在了错误后调控的多阶段特征上，一方面忽略了错误监控的特征，另一方面，内容与应激的主题不相关，所以我们将这部分内容删除，重新对结果进行了讨论。应激在错误加工上的效应不仅表现在错误监控阶段也出现在了错误后调控阶段，我们参考了 Inzlicht(2015)等人提出的认知控制与情绪相交互的观点和 Hermans(2014)提出的应激双向交互模型(biphasic-reciprocal model)，认为负性情绪在应激对错误加工的调节上起到了重要作用。Inzlicht(2015)等人提出错误反应总是会引起负性体验，这种负性体验有助于驱动适应性行为调控，而当个体面临强烈的负性情绪体验时，个体的认知加工过程容易受到情绪加工的干扰和分心，一方面，用于错误监控的认知资源减少，另一方面，个体在负性心境下无法对错误信号做出适当的评估，导致无法有效地执行适应性调控。结合 Hermans(2014)提出的应激下的脑网络交互模型，应激诱发的过度负性情绪反应损害了错误监控与错误后调控。

意见 4：文中存在一些语言规范表述的问题，希望研究者可以加以优化。例如“我们将对比应激组与控制组在错误意识正确率、错误后行为调控上的操作表现”中的“操作表现”，措辞不佳。

回应：感谢审稿专家的意见，我们已经对文中存在的措辞问题进行了调整与修改。

意见 5：作者提及了多次测量基线心率，这是什么原因？还是笔误？

回应：很抱歉，这是我们的笔误，我们已在原文中进行修改。我们在实验过程中收集了四次心率，仅有第一次为基线心率。

意见 6：正性负性情绪问卷同时包括正性与负性情绪，TSST 应激可能会导致负性情绪的增加和正性情绪的降低，请研究者在结果部分报告个体的正性情绪分数。

回应：非常抱歉我们未报告正性情绪的结果，我们在文章内做了相应的数据补充。正性情绪的分析结果显示时间点主效应显著，组别以及组别与时间点的交互效应均不显著。这说明不论应激与否，在整个实验流程后，个体的正性情绪都在减少。我们在一些研究中也发现了与本研究类似的结果，例如 Jiang 等人 (2017)发表于 Scientific reports 的研究“Acute Psychological Stress Disrupts Attentional Bias to Threat-Related Stimuli”。我们认为不论应激任务与错误意识任务难度高低，进入严格的实验程序后被试正性情绪降低是正常表现。

意见 7：相关分析部分仅有这一个相关系数显著？研究者能否说说为什么负性情绪与错误意识正确率之间的相关显著而压力感受水平不显著。

回应：相关分析部分确实只有负性情绪与错误意识正确率之间的相关关系显著。负性情绪是应激体验的即时指标，实际上负性情绪不仅涵盖了压力体验，它测量了包括愤怒、内疚、敌意、紧张、恐惧等在内的多重负性体验。依据双重竞争模型(dual competition theory)，我们认为个体对负性情绪的过度关注可能会引起个体错误监控资源不足。应激测试本身具有较高难度，且让个体置于受到社会评价的情景中。个体在没能较好地完成任务与口算任务的情况下，可能会陷入自责，反复自省，感到羞愧和沮丧等，这一系列的负性体验与情绪加工都会占用个体的认知加工资源。

意见 8：引言中研究者提到错误后减慢，而结果中出现了错误后加快。如果均是错误后反应控制提升的表现，希望研究者可以在引文中做一定的铺垫，或者采用一致的有利于读者理解的表述。事实上，错误后正确率调整（误报后发生漏报，连续错误）可能比错误后 Go 试次的 RT 更能反映错误后行为调整能力。

回应：谢谢审稿专家的建议。错误后调整包括了错误后反应时延长和正确率提升两个部分，

一般都以正确率来衡量错误后调控的有效性。错误后加快是 go 这种优势反应被强化后的表现，较为特殊。考虑到 go 任务的特殊性，在本研究中我们对错误后调控能力的评估主要参照的是正确率。

.....

审稿人 3 意见

意见 1：行为数据分析部分，“错误后试次反应时减去错误前试次反应时而获得错误后反应时调整”，这里的错误前试次指的是什么？是该次错误反应之前的一个试次，还是所有的正确反应试次？

回应：这里的错误前试次，指的是错误试次之前的 go 试次的反应时。我们将这部分的表述做了修改，将“错误后试次反应时减去错误前试次反应时而获得错误后反应时调整”改为“错误后试次的反应时减去错误前试次的反应时而获得每一个错误后试次的反应时调整量”。

意见 2：建议作者用公式描述错误后正确率和错误后反应时的计算方法。

回应：我们已将公式全部附加在计算方法部分。其中错误后反应时调整的计算公式为：
$$RT_{\text{post-error adjustment}} = RT_{\text{post-error trial}} - RT_{\text{pre-error trial}}$$
，错误后正确率调整的计算公式为：
$$ACC_{\text{post-error adjustment}} = ACC_{\text{post-error trial}} - ACC_{\text{post-correct trial}}$$

意见 3：错误后第一个试次，指的是错误反应后紧接着的那个试次（在这个试次中，被试需要忽略 go 试次的字义和颜色，直接在该颜色字上完成意识按键），还是这个试次之后的试次？

回应：非常抱歉我们表述不清，引起了审稿专家的疑惑。错误后第一个试次指的是被试做出错误反应之后，第一个按照 go/no-go 任务反应规则进行按键的试次。当被试意识到自己犯错，按下了错误意识键，则错误后第一个试次为错误意识试次之后的第一个试次；若被试没有意识到错误，则为错误反应后的第一个试次。我们在文章中也做出了相应的修改。

意见 4：由于在错误反应后有意识按键，因此，意识到的错误后试次，和未意识到的错误后试次，距错误反应的时间是不一样的对吗？对于意识到的错误，比未意识到的错误可能有更长的调整时间。那么作者在计算对比错误后试次中，是如何处理这个问题的？

回应：意识到错误与未意识到错误试次到达下一个 go 试次的时间间隔确实不一致，但是实际上，从本研究的数据结果来看，被试进行错误意识按键反应后，正确率低于未意识到错误后的试次。也就是说，这段时间间隔并不足以促进错误后的行为的改善。

意见 5：错误后第二个试次的结果中，控制组在未意识到错误后试次的正确率似乎有所增加，这一项与意识到错误后试次相比，以及与应激组相比是否有显著差异？如果有，如何解释？

回应：实际上，我们考虑到各个条件的数据值很小，所以我们将该图的纵坐标标尺设置得较小。在错误后第二个试次上，控制组在未意识到错误后试次的正确率并没有提升，是下降了两个百分点。我们对这部分的数据也重新进行了分析，数据之间的差异不显著。

意见 6：相关分析中，为何只做了负性情绪和错误意识率的相关，是否有分析应激感知，心率和皮质醇与行为指标的相关？

回应：我们将所测量的 4 个指标都与错误意识率进行了相关分析，仅有负性情绪与之相关显著。四个指标分别指示了应激下的 HPA 和 SAM 轴的激活强度，皮质醇是应激反应的延迟

指标，它是 HPA 轴的终产物，对包括记忆、情绪、学习在内的多种认知加工过程都有较大影响；心率是应激反应的延迟指标，它是应激下 SAM 轴激活水平的直观指标；负性情绪和压力感知自我报告是个体对自己情绪体验的自我评估。考虑到不同指标所指示的心理与生理意义存在一定的差异，我们认为个体对负性情绪的加工与卷入可能导致了错误监控资源的不足，这使得负性情绪与错误意识率存在较高相关。

意见 7: 被试达到实验室后 10 分钟进行基线的采集，这个休息时间对皮质醇来说可能略短，从皮质醇结果来看，控制组从-40 到 0 分钟有回落现象，不排除测量基线时被试由于运动或刚实验室，皮质醇尚未回落到基线。

回应: 我们尚且还无法明确解释此处的皮质醇回落现象。我们在进行实验之前已经要求被试杜绝剧烈运动和饮用刺激性饮料。我们给予被试 10 分钟的休息时间，与以往的一些研究相似，例如陆青云等人的研究给予被试 15 分钟休息时间后开始收集基线数据。其实我们在一些研究中也发现即便在完成控制版应激任务之后，个体的皮质醇水平出现回落的现象 (Glienke, Wolf, & Bellebaum, 2015)。

陆青云, 陶芳标, 侯方丽, 孙莹. (2014). 青少年应激下皮质醇应答与风险决策相关性的性别差异. 心理学报, 46(5), 647-655.

Glienke, K., Wolf, O. T., & Bellebaum, C. (2015). The impact of stress on feedback and error processing during behavioral adaptation. *Neuropsychologia*, 71, 181-190.

意见 8: 文中采用的应激感知自我报告，文中提到采集抑郁和焦虑量表，但是在结果部分并未报告这两个量表的结果。建议在结果部分两组在这两个量表上的得分，以及告知是否存在两组差异。

回应: 特质和状态焦虑量表的数据结果呈现在第 25 页第 2 段。我们在同一段落补充了抑郁量表的数据分析结果。结果显示不论在焦虑还是在抑郁水平上组间差异均不显著。

意见 9: 讨论部分第一段，“负性情绪能够显著地负向预测错误意识正确率”，本文只是做了相关分析，尚不能推断为因果关系，请谨慎下结论。

回应: 感谢审稿专家的建议，我们在相关分析的基础上，进一步对数据进行了逐层回归分析。我们采用应激后 $t = 0$ 和 $t = 10$ 的应激响应指标对错误意识率进行了逐层回归分析。结果显示仅在应激组中，0min 时间点负性情绪可以解释错误意识率 13.90% 的变异量， $\beta = -0.42$ ， $F(1, 24) = 5.04$ ， $p = 0.034$ 。这说明，应激下的负性情绪对错误意识具有一定的预测性。

意见 10: 应激组和控制组各有多少名被试？

回应: 非常抱歉我们的疏漏，控制组和应激组分别有 26 名被试，我们已经将每组的人数做了补充。

意见 11: 研究方法部分，1.5 中第二段“本研究采用了错误意识任务，详见图 2”。并未见图。

回应: 非常抱歉我们疏漏了图 2，我们已经将图 2 做了补充。

第二轮

审稿人 1 意见

意见 1: 多处文献引用需要跟精确和规范化，多处笔误需要避免，比如“因此，因此我们推

测应激诱发的负性情绪占用了认知资源”，这句话中第二个“因此”应该去掉。

回应：感谢审稿专家的建议，非常抱歉我们在文稿的校对中遗漏了一些细节。我们重新对文稿全篇进行了检查与修改。

意见 2：“在应激的情况下，强烈的负性情绪体验激活了下丘脑和脑干的应激通路，进而诱发了大量的肾上腺素和多巴胺分泌。”这句话描述不够准确。“肾上腺素”建议改为“(去甲)肾上腺素”。

回应：感谢审稿专家的建议，我们对此处进行了相应的修改。

意见 3：英文摘要需要改进。

回应：感谢审稿专家的建议，我们对已经英文摘要进行了修改和完善。

审稿人 2 意见

作者已经回答了我的大部分的问题，仅仅第一个问题（关于速度正确率权衡），作者虽然列出了一些文献来推断不存在这个问题，但最好需要用数据来说话，如果数据不支持，也需要对此进行更好的讨论。

回应：感谢审稿专家的建议。我们对错误意识任务的速度正确率权衡进行了推论：假设个体在错误意识任务上存在快速加工倾向，那么个体应该更倾向于做出错误意识标记反应，也就是说，不论在 no-go 试次上是否执行了错误反应，个体都应该倾向于做出快速的错误意识标记反应；反之，若个体并不存在速度优先的加工倾向，意识反应的加快则可能归因于运动区兴奋性提升引起的单一按键反应加快。即原文所述的“应激个体 go 反应速度加快现象与应激下个体的运动区兴奋性提升导致的冲动性反应增强有关(Falconer et al., 2008; Wu et al., 2010)。当觉察到自己的错误时，应激下的运动预备状态会加快个体在错误意识上的按键速度”。为了回答个体在错误意识任务上是否存在速度与准确性权衡的问题，我们对个体的错误意识反应做了进一步分析。参考了信号检测论的相关内容，我们新增了对正确 no-go 试次后的错误意识反应的分析。随之，对错误意识任务的分析包括了四个指标：做出错误反应后意识到错误的概率($P_{\text{awareness}}$)、做出错误反应后未意识到错误的概率($P_{\text{unawareness}}$)、未做出错误反应后意识到错误的概率($P_{\text{false awareness}}$)和未做出错误反应后未意识到错误的概率($P_{\text{correct judgment}}$)。独立样本 t 检验的结果显示，应激组与控制组在 $P_{\text{awareness}}$ 和 $P_{\text{unawareness}}$ 上存在显著差异， $t(50) = -4.16$, $p < 0.001$, $d = -1.16$, $[-0.36; -0.12]$; $t(50) = 4.63$, $p < 0.001$, $d = 1.28$, $[0.15; 0.38]$ ，在 $P_{\text{false awareness}}$ 和 $P_{\text{correct judgment}}$ 则均不显著， $ps > 0.86$ 。结果表明，应激个体不仅不会在错误 no-go 反应后执行更多的错误意识反应，也不会正确反应后进行更多的错误意识反应。换句话说，在错误意识任务上，应激个体并没有忽视 no-go 反应的准确性而进行冲动和快速的错误意识标记反应。由此，即便错误监控已经受损，应激个体所做出的错误意识反应是基于对错误反应的真实判断，并不是倾向于快速地进行意识标记反应而低估错误与否。综上所述，我们对错误意识任务上出现的正确率下降和反应速度加快的讨论依旧从执行功能损伤和运动区兴奋度提升两方面展开。

审稿人 3 意见

意见 1：引言部分过于简单，未能涵盖一些已有的相关文献，关于应激对错误监控和错误后调整行为的影响，在这方面已有一些研究，如 Compton, Hofheimer, & Kazinka, 2013，近些年也有一些新的发现。而且，错误监控属于认知控制和执行功能的大范畴，从这个角度来说，

已有很多应激作用的相关文献，建议作者补充这些文献，使得问题提出更为合理。

回应：感谢审稿专家的建议。我们回顾了以往探索应激影响错误加工的研究，并在文稿中补充了与本研究相关的文献以合理问题提出部分。回顾以往研究，我们发现了一些涉及错误加工与皮质醇水平的研究，包括审稿专家推荐的 Compton, Hofheimer 和 Kazinka (2013) 的研究在内，它们对反应监控(自我控制)与皮质醇的关系做了一系列探索。但是考虑到我们的研究主要涉及应激状态对错误加工的调节，非应激状态下的皮质醇水平与反应监控的关系并不是本研究的重点，所以引言部分不会涵盖这些文献。涉及应激状态下错误加工的研究的数量尚且有限(Cavanagh & Allen, 2008; Clemans, Elbaz, Hollifield, & Sokhadze, 2012; Whitton et al., 2017)，它们虽然都发现了应激损伤错误监控系统，但在错误后行为调控上还没得到一致的结论，为此我们的研究将从错误监控与错误后行为调控两方面展开。

Clemans, Z. A., Elbaz, A. S., Hollifield, M., & Sokhadze, E. M. (2012). Single trial time–frequency domain analysis of error processing in post-traumatic stress disorder. *Neuroscience Letters*, 525(2), 105-110.

Cavanagh, J. F., & Allen, J. J. (2008). Multiple aspects of the stress response under social evaluative threat: an electrophysiological investigation. *Psychoneuroendocrinology*, 33(1), 41-53.

Compton, R. J., Hofheimer, J., & Kazinka, R. (2013). Stress regulation and cognitive control: evidence relating cortisol reactivity and neural responses to errors. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 13(1), 152-163.

Whitton, A. E., Veer, A. V. T., Kakani, P., Dillon, D. G., Ironside, M. L., & Haile, A., et al. (2017). Acute stress impairs frontocingulate activation during error monitoring in remitted depression. *Psychoneuroendocrinology*, 75, 164.

意见 2：在讨论部分，也应该比较本研究结果与这些相关研究结果的异同，进而深入对结果的讨论。

回应：感谢审稿专家的建议。依据本研究结果与以往研究的异同，我们补充了对错误后行为调控部分的比较与分析。

意见 3：控制组其实并未出现错误后正确率的提升（作者在前一轮回复中解释过这个问题），而应激组在未意识到错误情况下的 post-error acc 与控制组是没有差异的，差异在于应激组在意识到错误时 post-error acc 反而下降了，这是一个很有意思的发现。但这与作者的结论“即便在辨别出错误反应的情况下，应激组的行为监控与调节也更差”是不符的，从结果看，应激组只是在意识到错误的情况下，才出现 ACC 下降的行为，如果应激组没有意识到错误，post-error acc 与控制组无差别。请作者确认结果是否如此，如何解释这个结果？

回应：感谢审稿专家。(1)错误意识发生于错误监控阶段，它是影响错误后调整的一个重要因素。已有多项研究显示，当个体意识到错误时，才能对错误后行为进行调节(Di Gregorio, Steinhauser, & Maier, 2016; Endrass, Reuter, & Kathmann, 2007)。也就是说，错误意识是错误后调整发生的前提之一；(2)在我们的研究中，不论意识到错误与否，两个组都未出现错误后正确率的提升，原因可能在于在本范式内试次之间的间隔较短，个体尚且不能有效地进行行为调整，所以，相较于出现正确率提升的实验设计，该范式的设计并不益于揭示错误后正确率提升的机制；(3)实际上，控制组意识到错误后试次的正确率虽然低于未意识到的试次，但仅有应激组出现了错误后正确率显著下降，我们认为控制组个体可能对错误后试次维持了相比应激组更为灵活的加工模式，进一步地，应激组在意识到错误之后的试次上，正确率也显著低于控制组。因此，应激组在错误后加工上确实差于控制组；(4)我们做出“应激组的行为监控与调节也更差”的结论基于两点：①负性情绪导致个体过度卷入错误评估加工中，导

致错误后调控资源的不足；②应激下选择注意的损伤也不利于个体快速地将注意力移回下一试次上。我们补充了摘要内的数据结果，以更充分地说明我们的研究结论。我们将“进一步，应激组在意识到错误后试次上，正确率显著低于未意识到错误后试次；但控制组则无此效应。”改为了“进一步，应激组在意识到错误后试次上，正确率显著低于未意识到错误后试次，控制组则无此效应；此外，应激组的意识到错误后试次正确率低于控制组。”。

Di Gregorio, F., Steinhäuser, M., & Maier, M. E. (2016). Error-related brain activity and error awareness in an error classification paradigm. *NeuroImage*, 139, 202-210.

Endrass, T., Reuter, B., & Kathmann, N. (2007). ERP correlates of conscious error recognition: aware and unaware errors in an antisaccade task. *European Journal of Neuroscience*, 26(6), 1714-1720.

意见 4：在意识到错误反应后有按键反应，这个按键反应的时间会不会造成意识到和未意识到错误后试次反应时不同的原因？作者从错误率的角度并不能解释反应时的问题，在这个范式中是否有关于这个问题的处理方法？

回应：感谢审稿专家的提问。我们在上一轮回复中，对错误意识按键反应是否会通过增加反应准备时间以改善错误后反应调整做出了回答。我们的结果显示，错误意识按键反应不会提升错误后反应的准确性，相反地，在个体意识到犯错后，正确率更低。在此处，我们将对错误后加快的现象做进一步地解释。实际上，我们认为意识按键反应并没有主导反应时的意识效应。(1)错误意识是衡量个体是否监控到错误信号的一个直观指标。若个体未能报告错误反应，这意味着错误监控加工并未完成，即个体并没有意识到自己的错误反应，那么随后的一系列应对错误信号的加工将不会执行，反之，个体将执行错误后调整。因此，在本研究中错误后反应时差异由错误意识导致。(2)意识到错误的试次和未意识到错误的试次与衡量错误后加工水平的试次之间的间隔确实不一致。事实上，个体完成错误意识按键任务需要付出额外的认知加工努力，即需要进行额外“意识”按键。也就是说，个体在加工错误后试次之前并不能做出更充分的认知准备。在我们的研究中，意识到错误后正确率下降也说明了这点。(3)当个体意识到错误后反应时加快是该范式中出现的典型现象(Hester, Foxe, Molholm, Shpaner, & Garavan, 2005; Hester et al., 2012)。首先，与 no-go 试次相比，go 试次本身是一种优势反应，被试在抑制反应过程中需要耗费更多的认知资源。加之，在该研究范式中，go 与 no-go 试次的比例差异较大，go 反应的优势度进一步被提高。个体意识到错误反应后，对试次比例的适应将导致 go 试次的反应优势受到强化。我们在原文中已经做出解释“在 go/no-go 任务中，常出现错误后加快现象。原因在于 go 反应为优势反应，当个体意识到错误时，错误后行为应表现为优势反应的自动化(Hester, Foxe, Molholm, Shpaner, & Garavan, 2005; Hester, Simoes-Franklin, & Garavan, 2007)。”

Hester, R., Foxe, J. J., Molholm, S., Shpaner, M., & Garavan, H. (2005). Neural mechanisms involved in error processing: a comparison of errors made with and without awareness. *Neuroimage*, 27(3), 602-608.

Hester, R., Nandam, L. S., O'Connell, R. G., Wagner, J., Strudwick, M., & Nathan, P. J., et al. (2012). Neurochemical enhancement of conscious error awareness. *Journal of Neuroscience*, 32(8), 2619-2627.

意见 5：作者实际上做了各个应激指标，包括情绪、心率和皮质醇与错误意识率的相关，虽然几个指标的相关不显著，但建议作者报告全部，包括阳性和阴性结果，并在讨论中予以解释。

回应：非常感谢审稿专家提出的建议，我们已经补充表 2 以完整呈现错误意识率与四个应激指标之间的相关系数和显著性水平。在讨论部分，我们也对不同指标与错误意识率间的相关

分析结果进行了讨论。

意见 6: 图中信息尚存在一些歧义，如图四中，标签显示的红色和蓝色柱的含义，与图四上部两个图的含义是没有关系的。建议上部分两个图用其它颜色或标识来表示。

回应: 非常感谢审稿专家提出的意见，我们已经将图 4(1)的配色进行了调整。我们将原本的红色和蓝色的配色统一更改为了白色以免与 4(2)混淆。

第三轮

审稿人 3 意见

作者已经较好地回答了几轮审稿中提出的问题。建议作者对英文摘要的表达和准确性做进一步的完善。

回应: 非常感谢审稿专家提出的建议，我们对英文摘要的内容准确性和语言表达都做了进一步的完善。