

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：未意识到错误影响错误后调整的电生理证据

作者：王丽君 索涛 赵国祥

第一轮

审稿人 1 意见：

该文采用时频分析探讨未意识到错误能否引起错误后调整效应。结果发现未意识到错误与意识到错误相似，均造成了行为的优化。但未意识到错误的 alpha 能量激发晚于意识到错误，作者由此提出未意识到错误主要采用被动性控制策略进行调整。本研究的实验设计合理，实验结果清晰，对错误后调整领域的研究有一定的理论贡献。不过，存在一些问题需要解决。

回应：首先非常感谢您的宝贵意见，让我们的论文有很大的提高。我们已仔细阅读您的每一条建议并逐条进行修改，修改部分已在文中用蓝色字体标出。

意见 1：意识到错误条件下，在错误意识主观报告前 400ms 就已诱发 alpha 波，而未意识到错误条件下，被试在错误意识主观报告反应时才诱发 alpha 波。对于时间上的差异，给出统计结果，以有连续显著的 10 个采样点数据为基础。除了时间上的差异，强度上的差异也需要讨论。

回应：非常感谢您的建议。1) 根据建议我们对意识到错误和未意识到错误 alpha 波响应时间差异进行了分析，详见时频分析结果第二段和图 4。

意识到错误和未意识到错误诱发的 alpha 波出现响应的的时间不同，为了检验该时间上的差异，我们首先对意识到错误和未意识到错误在每个时间点进行配对样本 t 检验，以考察两类错误诱发的 alpha 波出现显著差异的起始时间点，结果显示在第 232 个时间点（错误意识主观报告前 536ms）两类错误诱发的 alpha 波开始出现显著差异（见图 4）。其次，我们分别对意识到错误和未意识到错误在每个时间点进行独立样本 t 检验，以考察两类错误诱发的且显著区别于基线的 alpha 波起始点。结果显示意识到错误在第 207 个时间点（错误意识主观报告前 586ms）开始出现显著的 alpha 波，而未意识到错误在第 532 个时间点（错误意识主观报告后 64ms）开始出现显著的 alpha 波。

2) 已在讨论中补充强度上的差异讨论，详见讨论部分第四段。

在神经水平上，意识到错误诱发的 alpha 波能量显著强于未意识到错误。已有研究证实 alpha 波的神经震荡与注意警觉、注意控制以及行为适应等认知功能有关 (Braboszcz & Delorme, 2011; Carp & Compton, 2009; Sadaghiani & Kleinschmidt, 2016)。如，Braboszcz 和 Delorme (2011) 采用点数呼吸任务 (breath-counting task) 发现被试注意力集中于呼吸比思维漫游状态诱发了更强的 alpha 波，结果表明被试处于注意力集中状态时注意警觉显著提高。并且，先前考察警觉水平对错误后调整影响的研究中已发现高警觉状态的被试错误后调整更快，导致错误后减慢现象消失，而低警觉状态的被试仍表现出了错误后减慢现象 (王丽君, 刘长平, 胡学平, & 陈安涛, 2016)。因此，意识到错误诱发了更强的 alpha 波可能说明意识到错误提升了被试的注意警觉状态，促使被试加强注意控制，从而使错误后调整速度加速；反之，未意识到错误诱发较弱的 alpha 波说明未意识到错误时被试的注意警觉状态较低，错误后调整速度减慢。

意见 2: 而未意识到错误是任务引起的暂时注意控制。因此, 本实验证实意识到错误时被试采用主动性控制策略调节错误后行为, 而未意识到错误时被试采用被动性控制策略调节错误后行为。-- 未意识到错误时采用了反应性 (reactive control) 而非被动性控制, 需要明确表述。而且, 作者并没有支持是哪类控制方式的分析, 因此这一判断是推测性, 不要使用过于肯定表述, 至多是类似于反应性调整。

回应: 非常感谢您的建议。根据建议我们做了以下修改:

- 1) 把被动性控制修改为反应性控制。
- 2) 把意识到错误和未意识到错误可能采用的控制策略修改为意识到错误采用类似主动性控制的策略, 未意识到错误采用类似反应性控制的策略。
- 3) 在讨论部分实验不足中对当前结果的推测性进行评论。三, 本实验没有操纵实验背景和实验任务来实现主动性控制和反应性控制, 因此未来的研究可采用 AX-CPT 等实验任务来考察错误意识在错误后调整中的作用, 为意识到错误和未意识到错误的策略加工提供直接的实验证据。

意见 3: 作者通过梳理错误意识相关文献发现未意识到错误研究存在争议, 但是并未对研究争议展开分析。建议深入分析研究问题, 使问题提出更具体。

回应: 非常感谢您的建议。已在前言部分补充对现有文献中错误意识在错误后调整中作用不一致结论的分析, 详见前言第四段。

根据上述研究发现, 现有研究一致认为意识到错误可引起错误后调整, 但是未意识到错误能否促使个体进行错误后调整尚存争议。产生这种不一致结论的可能原因在于现有研究考察错误意识的加工通路不同。支持未意识到错误不能进行错误后调整的研究强调自上而下的控制在错误意识加工中的作用, 认为未意识到错误不能提供错误已发生的信息, 因此未意识到错误不能促使大脑调用更多认知资源进行错误后调整。但是支持证据累积理论的研究强调自下而上的控制在错误意识加工中的作用, 认为未意识到错误可根据感知觉和运动系统提供的错误信息以内隐的方式进行错误后调整。前人研究已发现主动性控制 (proactive control) 参与冲突或错误发生后的试次间调整(Chang, Ide, Li, Chen, & Li, 2017; Leunissen, Coxon, & Swinnen, 2016; Verbruggen & Logan, 2009)。特别是在 Regev 和 Meiran (2014) 的研究中指出错误后调整包含主动性控制和反应性控制 (reactive control) 两种策略控制加工(Regev & Meiran, 2014)。主动性控制是目标导向性的自上而下控制, 在认知需求事件发生前注意控制一直持续存在, 通过对目标相关信息的持续注意来预防消极事件的发生 (如错误、冲突等); 而反应性控制是刺激驱动的自下而上控制, 在认知需求事件发生时暂时进行注意控制, 通过在反应时重新激活目标相关信息来避免消极事件的发生(Braver, 2012)。由此, 我们推测意识到错误和未意识到错误可能采用了不同的控制策略调节错误后行为。但是, 目前为止, 尚未有研究探究意识到错误和未意识到错误调节错误后行为的加工策略差异。

意见 4: 文中的 nogo 试次有两种类型, 汉字字义和颜色不一致时和当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时。那么分析的时候, 是否两种情况应该分开分析, 而不是合并到一起?

回应: 非常感谢您的建议。1) 错误加工研究一直存在有效错误试次不足的问题, 因此为了保证意识到错误和未意识到错误有足够可用于分析的试次, 确保统计分析的有效性, 本实验参考前人研究 (Hester et al., 2005) 将 no-go 试次设为汉字字义和颜色不一致时和当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时两种情况。本实验中意识到错误和未意识到错误的平均有效试次分别是 85 和 24。

2) 我们也曾尝试在两类 no-go 错误中分别分析意识到错误和未意识到错误, 但是发现没有足够可用的错误试次 (特别是未意识到错误试次) 支持该分析。

3) 针对该问题, 我们在讨论部分实验不足中进行评论。二, 本实验采用 go/no-go 任务考察错误意识对错误后调整效应影响的电生理证据, 该任务中 no-go 试次包含两种类型, 汉字字义和颜色不一致时和当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时。前者需进行冲突信息加工, 而后者需进行工作记忆加工, 两种不同的信息加工导致的错误可能影响错误后调整。为了确保每类错误有足够可用于统计分析的有效试次, 我们把两种 no-go 错误进行混合分析, 因此未来的研究需采用难度相对更大的任务验证当前的结果。

意见 5: 基于 ICA 方法去除眼电伪迹的比例 (试次) 未报告。

回应: 非常感谢您的建议。根据建议已在 2.4 时频分析预处理部分补充 ICA 分析的方法, 并在 3.2 时频分析结果部分补充伪迹去除后意识到错误和未意识到的有效可用试次。

1) 在分析过程中利用 Brain Vision Analyzer 2.0 自带分析软件中 ICA 方法进行眼电矫正。经 ICA 分析, 每位被试获得 64 个 ICA 成分以及相应的 IC 拓扑图和波形图。根据 IC 拓扑图和波形图的特征进行眼电确认和删除, 并在去伪迹时将波幅大于 $\pm 100\mu\text{V}$ 的试次剔除。

2) 在时频分析中, 伪迹去除后意识到错误和未意识到错误的有效试次分别为 76 ($SD=26$) 和 22 ($SD=10$)。

意见 6: 3.1 行为结果部分图文不一致。

回应: 非常感谢您帮我们指出该错误, 已进行修改。

意见 7: 文中未意识到错误和无意识到错误概念不统一。

回应: 非常感谢您帮我们指出该错误, 已将文中概念统一修改为未意识到错误。

意见 8: 错误意识主观报告和时频分析结果部分, 效应量未报告。

回应: 非常感谢您的建议, 已在结果部分补充效应量。

.....
审稿人 2 意见:

意见 1: 作者通过对已有文献的综述后提出问题, 即“未意识到错误能否促使个体进行错误后调整尚存争议”, 但是没有进一步说明产生这种不一致结论的主要原因是什么? 而采用波谱时频分析 (time-frequency analysis) 来考察这一问题为何可以解决当前的争议?

回应: 非常感谢您的建议。1) 已在前言部分补充已在前言部分补充对现有文献中错误意识在错误后调整中作用不一致结论的分析, 详见前言第四段。

根据上述研究发现, 现有研究一致认为意识到错误可引起错误后调整, 但是未意识到错误能否促使个体进行错误后调整尚存争议。产生这种不一致结论的可能原因在于现有研究考察错误意识的加工通路不同。支持未意识到错误不能进行错误后调整的研究强调自上而下的控制在错误意识加工中的作用, 认为未意识到错误不能提供错误已发生的信息, 因此未意识到错误不能促使大脑调用更多认知资源进行错误后调整。但是支持证据累积理论的研究强调自下而上的控制在错误意识加工中的作用, 认为未意识到错误可根据感知觉和运动系统提供的错误信息以内隐的方式进行错误后调整。前人研究已发现主动性控制 (proactive control) 参与冲突或错误发生后的试次间调整 (Chang, Ide, Li, Chen, & Li, 2017; Leunissen, Coxon, & Swinnen, 2016; Verbruggen & Logan, 2009)。特别是在 Regev 和 Meiran (2014) 的研究中指出错误后调整包含主动性控制和反应性控制 (reactive control) 两种策略控制加工 (Regev & Meiran, 2014)。主动性控制是目标导向性的自上而下控制, 在认知需求事件发生前注意控制

一直持续存在，通过对目标相关信息的持续注意来预防消极事件的发生（如错误、冲突等）；而反应性控制是刺激驱动的自下而上控制，在认知需求事件发生时暂时进行注意控制，通过在反应时重新激活目标相关信息来避免消极事件的发生(Braver, 2012)。由此，我们推测意识到错误和未意识到错误可能采用了不同的控制策略调节错误后行为。但是，目前为止，尚未有研究探究意识到错误和未意识到错误调节错误后行为的加工策略差异。

2) 已在前言部分补充使用时频分析考察当前问题的原因，详见前言第五段。

前人研究已证实时频震荡可反映主动性和被动性控制策略(Chang et al., 2017; Cooper et al., 2015; Hwang, Ghuman, Manoach, Jones, & Luna, 2016)。因此，为了更清楚全面地描述错误意识的脑神经活动时程，本研究拟采用锁时非锁相的波谱时频分析（time-frequency analysis）考察意识到错误和未意识到错误是否采用不同的控制策略进行错误后调整。值得注意的是，枕顶区 alpha 波（8-14 Hz）神经震荡可反映试次间的行为调节（冲突适应和错误后调整）(Chang et al., 2017; Sadaghiani & Kleinschmidt, 2016)。如,Hwang 等（2016）研究发现 alpha 波能量的变化可以正向预测行为执行正确率。因此，本研究将以错误意识主观报告激活的枕顶区 alpha 波能量变化作为考察指标，以期解释错误意识在错误后调整中的作用。

意见 2: 未意识到错误能否促使个体进行错误后调整尚存争议，而弄清楚这个问题的意义和价值是什么？研究者有较好的研究基础，但研究当前科学问题的理由论证不深入，重点不突出，仍需理顺。

回应: 非常感谢您的建议，已对前言部分进行梳理和补充。根据对现有文献中错误意识在错误后调整中作用不一致结论的分析，我们推测意识到错误和未意识到错误可能采用了不同的控制策略调节错误后行为。但是，目前为止，尚未有研究探究意识到错误和未意识到错误调节错误后行为的加工策略差异。因此，本实验将尝试探讨该问题，有利于加深错误意识对错误后调整的影响的理解。

意见 3: 文中“无意识到错误后试次”和“未意识到错误后试次”是否为同一概念，若不是，请解释；若是，请修改。

回应: 非常感谢您帮我们指出该错误，已将文中概念统一修改为未意识到错误。

意见 4: 为何计划的人数是 36 人，依据是什么？

回应: 根据建议我们已在 2.1 被试部分补充该信息。实验前我们使用 G.Power 软件进行先验分析，估计出所需要的样本量为 29 人。因此，为保证有效被试数据不少于 29 人，我们有偿招募 36 名大学生参加本实验。

意见 5: 2.2 实验程序和实验任务中提到 no-go 试次包含两种类型。一，汉字字义和颜色不一致时，被试不需按键；二，当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时，被试不需按键。第一种 no-go 错误受字义和颜色冲突影响，第二种 no-go 错误受工作记忆的影响。两种 no-go 试次产生错误的原因不同，是否会影响当前结果。

回应: 非常感谢您的建议。1) 错误加工研究一直存在有效错误试次不足的问题，因此为了保证意识到错误和未意识到错误有足够可用于分析的试次，确保统计分析的有效性，本实验参考前人研究（Hester et al., 2005）将 no-go 试次设为汉字字义和颜色不一致时和当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时两种情况。本实验中意识到错误和未意识到错误的平均有效试次分别是 85 和 24。

2) 我们也曾尝试在两类 no-go 错误中分别分析意识到错误和未意识到错误，但是发现没有足够可用的错误试次（特别是未意识到错误试次）支持该分析。

3) 针对该问题, 我们在讨论部分实验不足中进行评论。二, 本实验采用 go/no-go 任务考察错误意识对错误后调整效应影响的电生理证据, 该任务中 no-go 试次包含两种类型, 汉字字义和颜色不一致时和当前试次呈现的汉字与先前试次完全一致时。前者需进行冲突信息加工, 而后者需进行工作记忆加工, 两种不同的信息加工导致的错误可能影响错误后调整。为了确保每类错误有足够可用于统计分析的有效试次, 我们把两种 no-go 错误进行混合分析, 因此未来的研究需采用难度相对更大的任务验证当前的结果。

意见 6: 行为分析时对意识到错误、未意识到错误和正确击中三种试次类型均进行了分析, 但是时频分析只分析了意识到错误和未意识到错误, 为什么不分析正确击中试次? 请说明。

回应: 非常感谢您的建议。行为分析需要意识到错误和未意识到错误分别与正确击中试次相比较来说明两类错误的错误后调整效应, 但是在神经上可以直接比较意识到错误和未意识到错误的神经激活来说明两类错误的神经调节, 所以在时频分析上我们没有分析正确击中试次。

意见 7: 3.1 结果介绍部分, 正确率对应的图写的是见 2a, 反应时对应的图写的是见 2b, 图文不一致, 请修改。

回应: 非常感谢您帮我们指出该错误, 已进行修改。

意见 8: 文章易读性需要增强。文中出现错字漏字现象, 建议通篇认真检查。如行为结果部分“错误后正确率的方差分析结果显示试次类型主效应差异显”, 少写了“著”。

回应: 非常感谢您的建议, 已经对全文进行检查和修改, 以确保没有错字漏字现象。

意见 9: 3.1 行为结果中, no-go 试次的正确抑制率和被正确觉察区别是什么? 51%和 81%是怎么计算来的, 是基于同一个参照依据还是不同的?

回应: 非常感谢您的建议。no-go 试次的正确抑制率指 no-go 试次的正确率, 正确觉察率指 no-go 错误试次中被试意识到自己犯错的概率。51%和 81%不是参照同一个依据计算的, 51%是 no-go 试次的正确抑制率, 通过 no-go 正确试次除以全部 no-go 试次获得; 81%是正确觉察率, 通过意识到自己犯错的 no-go 错误试次除以全部 no-go 错误试次获得。

意见 10: 讨论部分, 第三段中作者认为“未意识到错误试次主要是由持续注意的缺失导致, 因此错误发生后被试需要花费较多的认知控制资源进行错误确认”。但是, 既然是未意识到错误试次, 被试不知自己犯错的情况下, 怎么会花费较多的认知控制资源进行错误确认?

回应: 非常感谢您的建议。根据错误后正确率结果, 意识到错误和未意识到错误均使错误后正确率显著提高, 因此我们认为两类错误均可促使错误后行为进行调整。该结果与错误证据累积理论观点一致, 认为未意识到错误可能采用内隐的方式探测错误(讨论部分第二段)。我们认为未意识到错误只是累积的错误证据尚未达到清晰报告水平, 在此基础上, 我们在对两类错误导致的错误后调整模式不同的原因进行讨论时认为未意识到错误主要是由持续注意的缺失导致, 因此错误发生后被试需要花费较多的认知控制资源进行错误确认(讨论部分第三段)。

意见 11: 英文摘要及参考文献撰写不规范。

回应: 非常感谢您的建议, 已经对英文摘要和参考文献进行修改。

第二轮

审稿人 1 意见:

作者回答了我的问题,并做了相应修改。摘要还需要做一些修改,不要在摘要部分出现具体数据结果。

回应:非常感谢审稿专家的建议和肯定,已根据建议将摘要中的数据结果删除。

审稿人 2 意见:

作者已经较好地回答了审稿中提出的问题。建议作者对以下问题做进一步的完善。

意见 1:引言部分过于简单,作者应尽可能引用和补充近 5 年的参考文献,使得问题提出更为合理。

回应:非常感谢审稿专家的建议。根据审稿人建议,我们重点查阅了近五年关于错误意识的文献,发现近年关于错误意识的研究主要关注错误意识的年龄效应,与本研究考察的问题不相关。我们从中选出三篇与本研究相关性较大的文献增加引用,具体如下:

- 1) Der Wel, P. V., & Van Steenbergen, H. (2018). Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(6), 2005-2015.
- 2) Maier, M. E., Ernst, B., & Steinhauser, M. (2019). Error-related pupil dilation is sensitive to the evaluation of different error types. *Biological psychology*, 141, 25-34.
- 3) Wang, L., Gu, Y., Zhao, G., & Chen, A. (2020). Error-related negativity and error awareness in a Go/No-go task. *Scientific reports*, 10(1), 4026.

意见 2:引言末段作者写到:“另外,根据前人研究结果,我们预测意识到错误和未意识到错误诱发的 alpha 波存在差异。”这里应该列出参考文献且更为详尽的写出假设的由来。

回应:非常感谢审稿专家的建议,已对结果预测进行修改。

鉴于前人研究结果发现枕顶区 alpha 波神经震荡可反映错误后行为调节 (Chang et al., 2017; Sadaghiani & Kleinschmidt, 2016),我们预测意识到错误和未意识到错误导致的错误后行为调节模式不同,并且两类错误诱发的 alpha 波存在差异。

意见 3:多处中文文献引用需要跟精确和规范化,如“王丽君,刘长平,胡学平, & 陈安涛, 2016”。

回应:非常感谢审稿专家的建议,已对中文文献的引用格式进行修改。

意见 4:错误 go 试次和正确 no-go 试次为何没有纳入分析,应有所说明。

回应:非常感谢审稿专家的建议,已对上述问题进行补充说明。

错误 go 试次(不能反映抑制加工失败,为了避免错误类型的混淆)和正确 no-go 试次(正确 no-go 试次不需按键反应,没有反应时记录)未纳入行为和时频分析。

意见 5:讨论第三段过于冗长应重新组织,并适当增加参考文献。

回应:非常感谢审稿专家的建议,已对讨论第三段进行重新组织修改。