

## 刺激同一性对错误后反应的影响\*

刘玉丽<sup>1,2\*\*</sup> 张智君<sup>2</sup> 赵亚军<sup>2</sup> 赵均榜<sup>2</sup>

(1. 浙江理工大学心理学系, 杭州 310018; 2. 浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028)

**摘要** 当错误发生后,人们往往会放慢错误后反应的速度,以避免错误的再次发生,许多研究者认为,这是自上而下的认知控制对错误后反应的影响。为了探讨刺激属性是否也在错误后的反应中起作用,本研究从刺激同一性角度出发,探讨错误反应刺激与错误后刺激的同一性以及反应-刺激间隔时间(RSI)对错误后反应的影响。结果发现,当错误后的刺激与错误反应的刺激一致时,可减小错误后反应时延长的程度,同时,RSI越大,PES越小。本研究得出结论,刺激同一性和RSI作为自下而上的刺激驱动在PES的产生过程中发挥了作用。

**关键词** 错误后反应时延长(PES) 刺激同一性 认知控制

中图分类号:B842 文献标识码:A 文章编号:1006-6020(2013)-01-0050-07

### 1 问题的提出

错误动作(或反应)在日常生活中时有发生。Rabbitt(1966)和Laming(1979)的研究显示,在错误反应的下一个动作中,反应时会出现延长,并将这种现象称为“错误后反应时延长”(post-error slowing, PES)。错误后反应时延长是错误发生后采取的补救措施,有助于避免错误动作的再次发生。对错误和错误后反应的研究,有利于解释人类如何从错误中学习经验并适应新的环境。

错误后反应时延长的现象在多种任务

范式下都得到了验证,如Simon任务(Peterson et al., 2002)、Eriksen Flanker任务(Botvinick, Braver, Carter, & Cohen, 2001)和Stroop任务(Ciesielski et al., 2011)。但是,为什么会出现PES现象?即PES产生的机制是什么,目前还没有统一的理论解释。较有代表性的观点主要有认知控制和重定位(orienting account)两种。认知控制的观点认为,被试在错误反应发生后采取了更加保守的策略,即为避免错误的再次发生,延长了反应时间(Rabbitt, 1966)。在前一操作发生错误后,被试的后一操作在反应时间延长的同时,正确率上升。重定向观点认为,PES的产生是因为

\* 基金项目:浙江理工大学科研启动基金(1013815-Y)。

\*\* 通信作者:刘玉丽,女,博士,浙江理工大学讲师,Email: liu.yuli@hotmail.com。

错误试次的发生概率相对较小,在小概率事件发生后,需要较长的时间才能重新定位到当前的任务之中(Notebeart et al., 2009)。

近年来,认知控制的观点得到了许多实验的验证。例如,Botvinick等(Botvinick, Braver, Carter, & Cohen, 2001)和Jones等(Jones, Cho, Nystrom, Cohen, & Brave, 2002)应用神经网络模拟了错误反应过程。他们认为,错误反应属于冲突水平较高的情景,冲突引发的认知控制可提高下一试次的反应阈限,导致反应的时间变长,正确率升高。为了验证这一假设,Dutilh et al (2012)利用漂移扩散模型(drift diffusion model)分析了39名被试判断28074次词汇(判断几个字母组成的是单词还是非词)的错误后反应时间,结果发现,随着词汇出现概率的提高,错误反应后的反应时间延长,反应的正确率上升。因此,从行为水平上验证了认知控制假设。

认知控制对PES的解释出于自上而下的观点,即从被试认知策略改变的角度来解释PES。当错误发生后,个体将募集认知资源投入当前的任务之中,以降低无关信息对完成任务目标的干扰。但是,也有些研究的结果与认知控制观点的推论并不一致。Kerns(2006)、Hajcak和Simons(2008)的实验结果显示,错误后反应时的延长并不一定伴随着正确率的上升,相反会出现正确率的下降,即错误后出现操作绩效下降的现象。

出现以上现象的原因在于:错误后出现的反应时延长,并不是只受到被试认知的影响,还可能会受自下而上的刺激属性的影响,如目标的对比度,反应-刺激间隔时间(response-stimulus interval, RSI)等。Jentzsch和Dudschig(2009)的实验表明,错误后操作绩效的下降与RSI的长短有关

系。在短RSI(100毫秒)条件下,错误后反应时延长的程度更大,且更倾向于再次犯错误。Dudschig和Jentzsch(2009)的研究也得到了PES随RSI变化而变化的结论,且在长RSI(1000毫秒)条件下,目标对比度的降低也会增加PES。

实质上,PES反映了某一错误试次对后一反应试次的影响,也就是顺序效应(sequential effect)的一种表现。可以推测,自上而下的认知控制和自下而上的刺激驱动都在PES的产生过程中起了作用。但是,自下而上的刺激驱动是如何发生作用的,以往的研究并没有给出明确的答案。

信息加工的“赛马”模型(horse-race model)认为,在错误反应中,正确反应和错误反应同时被激活(Band, van der Molen, & Logan, 2003; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004)。错误反应的产生是因错误反应的激活超出了反应的阈限所致。Botvinick等人(2001)认为,错误是由于冲突较高的情景导致的。所谓冲突,是指正确的刺激-反应连接与错误的刺激-反应链接之间的冲突。在错误发生以后,对正确的刺激-反应连接(S-R连接,刺激与反应的映射关系)的加工并未就此结束。Rabbitt(2002)认为,错误更正其实是被延迟的正确反应。所以,当错误发生以后,个体可能依然维持着对上一试次正确的S-R连接的加工,这一S-R连接会对错误后的反应产生影响。

为了具体探讨错误试次中未表现出来S-R连接对PES的影响,本研究着重考察错误试次的刺激性质与后一反应试次的刺激性质的一致性。我们假设:如果错误试次的刺激性质与后一反应试次的刺激性质相同,则PES较短;反之,则PES较长。这一假设称之为“刺激同一性假设”。

本研究还将考察反应-刺激时间间隔

(RSI)的效应。通过设置3种反应-刺激时间间隔,探讨刺激同一性对PES的影响是否会受RSI的调节。我们假设,随着RSI的增大,刺激同一性对PES的影响将减小。

## 2 实验研究

### 2.1 研究目的

通过控制错误试次与错误后试次的匹配性以及RSI间隔时间,考察刺激同一性和RSI对错误后反应的影响。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 被试

48名大学本科生或研究生志愿者参与本实验。其中,男生26名,女生22名。年龄18~28岁,均为右利手,视力或矫正视力正常。实验后给予一定报酬。

#### 2.2.2 实验设计

实验采用2(刺激同一性)×3(RSI)两因素混合设计。

刺激同一性是被试内因素,有两个水平。刺激同一性用错误试次与错误后试次的刺激是否相同来表征。如果被试对某一刺激的反应出现错误,且下一次呈现的刺激与被试错误反应的刺激相同,则两个刺激具有同一性;如果刺激不同,即两个刺激不具有同一性。实验中,被试错误后试次出现的刺激有50%的可能与错误试次的刺激相同,另50%的可能与错误试次的刺激不同。

RSI为被试间因素,有三个水平,错误试次的反应与错误后刺激呈现的时间间隔分别为50毫秒、150毫秒和800毫秒。48个被试随机分为三组,每组16人,分别接受RSI为50毫秒、150毫秒和800毫秒实验条件。

#### 2.2.3 实验任务

采用中文Stroop范式。四个汉字

(“红”、“绿”、“黄”、“蓝”)分别用红、绿、黄、蓝四种颜色呈现。颜色与汉字一致的兼容刺激共有4种,如红色的“红”字。颜色与汉字不一致的不兼容刺激12种,如红色的“绿”字。

被试的任务是对呈现的汉字印刷体颜色做既快又好的按键反应。其中,红、绿、黄、蓝四种颜色分别对应标准键盘上的“D”、“F”、“J”、“K”四个键。这种对应关系在不同的被试之间通过拉丁方设计予以平衡。

#### 2.2.4 实验程序

实验在室内无灯光照明环境下进行,通过雅美达17英寸纯平CRT显示器和Presentation软件(版本0.71)呈现实验刺激。显示器的分辨率为1024×768像素,刷新率75赫兹。被试的位置固定,与屏幕距离约50厘米。

在每个试次开始后,先呈现注视点“+”,三组被试的注视点呈现时间分别为50毫秒、150毫秒、800毫秒。然后,呈现汉字刺激80毫秒,视角大小为0.7度。接着,汉字刺激消失后,要求被试做出反应。反应完成后,再次呈现“+”,开始下一个试次。如果被试在刺激呈现后1500ms内没有做出反应,则自动进入下一试次,这样的试次被称为漏报试次。

Stroop任务中兼容刺激和不兼容刺激出现的概率均为50%,所有的刺激随机呈现,只有当被试发生反应错误后,后一试次给予相同刺激或不同刺激的概率各为50%。每个被试要完成13个组的实验试次。其中,第一组为练习,其余12组为正式实验。每个组有72个试次,共864次。

每两组实验试次之间安排1分钟的休息。休息过后,由被试按键开始下一组实验。整个实验大约需要20~30分钟。

### 3 结果与分析

被试的平均错误次数为 58.3 (8 ~ 188), 平均错误率为 7.1% (1.0% ~ 23.1%)。为了取得稳定的数据, 剔除了错误次数小于 20 次和漏报率大于 20% 的被试的数据。剩余 45 名被试, 他们的平均错误率为 7.8% (2.2% ~ 23.1%), 错误反应的反应时为 684 ( $SD = 121$ ) 毫秒。

#### 3.1 错误后反应和正确后反应的反应时及错误率

在 PES 相关研究中, 如果试次  $n-1$  为错误反应且试次  $n$  为正确反应时, 则试次  $n$  被定义为错误后正确反应 (简称 PECR); 当试次  $n-1$  为正确反应且试次  $n$  为正确反应时, 试次  $n$  被定义为正确后正确反应 (简称 PCCR)。PES 即为所有被试 PECR 与 PCCR 的平均反应时之差。

本实验中, 错误后正确反应 (PECR) 的反应时为 736 毫秒 ( $SD = 133$ ), 正确后正确反应 (PCCR) 的反应时为 656 毫秒 ( $SD = 98$ )。对 PECR 的反应时与 PCCR 的反应时进行配对  $t$  检验, 结果错误后反应时明显较长 ( $t_{(44)} = 5.228, p < 0.001$ )。这说明, 错误后反应时出现延长, 时间约为 80 毫秒。

错误后反应的错误率为 23.3%, 与正确后反应的错误率 9.1% 进行比较, 配对  $t$  检验表明错误后反应的错误率明显大于正确后反应的错误率 ( $t_{(44)} = 8.31, p < 0.001$ )。这说明, 在错误后反应时延长的情况下, 其正确率并没有得到提高, 反而大大降低。

#### 3.2 刺激同一性和 RSI 对 PES 的影响

为了证明刺激同一性的效应, 将错误反应后刺激相同的反应时与正确反应后刺激相同的反应时相减, 即得到刺激相同条件下的 PES; 将错误反应后刺激不相同的

反应时与正确反应后刺激不相同的反应时相减, 即得到刺激不相同条件下的 PES。表 1 显示了三种 RSI 条件下刺激相同和刺激不同的平均 PES 和标准差。

表 1 三种 RSI 条件下错误后刺激相同和刺激不同的平均 PES 和标准差

RSI(毫秒)	刺激相同	刺激不同
50	150 ± 126	202 ± 86
150	122 ± 91	174 ± 83
800	82 ± 86	108 ± 92

对三种 RSI 条件下刺激相同和刺激不同的 PES 进行  $2 \times 3$  的两因素混合设计方差分析。结果发现: 刺激同一性的主效应显著, 刺激不相同的 PES (161 毫秒) 要明显大于刺激相同时的 PES (118 毫秒) ( $F_{(1,42)} = 6.107, p = 0.018, \eta^2 = 0.127$ ); RSI 的主效应显著 ( $F_{(2,42)} = 4.430, p = 0.018, \eta^2 = 0.174$ ); 两者的交互作用不显著 ( $F_{(2,42)} = 0.257, p = 0.774, \eta^2 = 0.012$ )。事后的多重比较发现, RSI 为 50 毫秒与 150 毫秒时的 PES 差异不显著 ( $p = 0.311$ ), 而 RSI 为 800 毫秒时, 与 RSI 为 50 毫秒和 150 毫秒时的 PES 差异显著或接近显著 ( $p = 0.005, p = 0.063$ )。这说明, RSI 越小, PES 越大。

#### 3.3 刺激同一性和 RSI 对错误率的影响

表 2 显示了不同 RSI 条件下的错误后刺激相同和错误后刺激不同的平均错误率和标准差。对不同 RSI 条件下错误后刺激相同和错误后刺激不同的错误率进行  $2 \times 3$  的混合设计方差分析。结果显示: 刺激同一性的主效应显著 ( $F_{(1,42)} = 22.535, p < 0.001, \eta^2 = 0.375$ ), 错误后刺激不同的错误率高于错误后刺激相同的错误率; RSI 条件的主效应显著 ( $F_{(2,42)} = 15.385, p < 0.001, \eta^2 = 0.363$ ), 当 RSI 为 800 毫秒时, 错误反应后的错误率与 RSI 为 50 毫秒和 150 毫秒时的情况均存在显著差异 ( $p < 0.001, p < 0.001$ ); 刺激同一性和 RSI 之间

的交互作用不显著 ( $F_{(2,42)} = 2.813, p = 0.071, \eta^2 = 0.107$ )。

表2 不同RSI条件下刺激相同和不同的平均错误率和标准差

RSI(毫秒)	刺激相同错误率	刺激不同错误率
50	25.5 ± 15.1	38.6 ± 15.8
150	21.0 ± 14.2	34.6 ± 14.0
800	10.6 ± 9.3	13.8 ± 9.2

## 4 讨论

本研究的目的是通过控制错误试次与错误后试次的匹配性以及RSI间隔,来探讨刺激同一性和RSI对错误后反应的影响。从结果可知,在Stroop任务中,错误后出现明显的反应时延长现象,同时错误率升高。错误后的刺激同一性和RSI都明显地影响了PES的大小。

错误后出现明显的反应时延长,同时错误率升高,表明错误反应使被试的操作绩效受损。这与Kerns等人(2004)、Kerns(2006)以及Hajcak和Simons(2008)采用Stroop范式的实验结果一致,但与Rabbitt(1966)得到的结果并不一致。Rabbitt(1966)发现,错误后反应时延长、准确率上升。两者的差异可能是由于实验范式不同导致的。需要注意的是,Rabbitt(1966)采用的是迫选任务,在迫选任务中,任何时候都存在着错误率与准确率的权衡,而本实验与Kerns等人(2004)、Kerns(2006)以及Hajcak和Simons(2008)均采用了Stroop任务,并没有显示反应时-正确率的权衡。

在以往研究中,错误后反应时延长(PES)和错误后正确率提高(post-error accuracy increasing, PIA)的现象都有发生。但是,对于两者之间的关系,目前的研究很少,结论也不统一。有研究者认为,PES与错误后正确率提高之间可能不存在相关(Danielmeier & Ullsperger, 2011)。但是,

Seifert, Von Cramon, Imperati, Tittgemeyer和Ullsperger(2011)的研究发现,在丘脑损伤的病人中,错误后正确率提高和PES都没有出现,而在健康人群组成的参照组中,错误后同时出现了反应时的延长和正确率的提高。他们由此认为,PES和PIA之间是存在相关的。对于PES与PIA关系问题的讨论,可能需要更加深入的研究,并参考生理学或神经影响学提供的证据。例如,PES(或PIA)与错误相关负电位(error related negativity, ERN)之间的关系,以及PES(或PIA)与大脑皮层激活区域之间的关系等问题,均需要深入探讨。

刺激同一性是影响PES的因素之一,本实验的结果支持了刺激同一性假设。当错误后出现不同刺激时,PES为161毫秒,而出现相同刺激时PES仅为118毫秒,两者差异明显。这一结果验证了信息加工的“赛马”模型的预测,即错误反应发生以后,对正确的刺激-反应连接的加工并没有停止,当错误后试次的刺激与错误试次的刺激相同时,这一刺激-反应连接的加工会减小错误后反应时延长的程度。

但是,对PES产生的机制,刺激同一性的作用并不能支持或反对认知控制的解释。认知控制对PES的解释是从自上而下的角度入手的,而在本研究中,与Jentsch和Dudschig(2009)一样,自下而上的刺激驱动也在PES的产生过程中发挥了作用。因此,单纯从认知控制的角度揭示PES的产生机制可能是不够的。

此外,本研究的结果与重定向观点的推论背道而驰。Notebaert等人(2009)的重定向观点认为,错误反应是出现概率较小的任务,而当小概率事件发生后,需要较长的时间才能重新定位到当前的任务之中。不管错误反应后出现的刺激与错误试次的刺激是否一致,错误反应和错误后反应都

是性质不同的任务,重新定向到当前的任务中都需要花费较长的时间。但是,本实验的结果却发现,错误后刺激一致的反应时为 656 毫秒,错误后刺激不一致的反应时为 858 毫秒,即重新定向到刺激一致的错误后反应,所花费的时间远远小于重新定向到刺激不一致的错误后反应。因此,本实验的结果并不能用重定向的观点进行解释。

本研究还发现,RSI 独立影响了 PES 的大小,这与 Jentsch 和 Dudschig(2009)以及 Jentsch 和 Leuthold(2005)的研究基本一致,即错误试次与错误后试次在时间上间隔越近,PES 越大。而“赛马”模型认为,错误反应发生后,正确的刺激-反应连接依然在加工,如果后续呈现相同的刺激,那么两者在时间上的临近可能会减小 PES。但是,事实并非如此,其原因在于:在错误发生以后,对错误的评估可能会干扰到随后的刺激加工,尤其是在短 RSI 条件下这一干扰的效应更加明显。

## 5 结 论

本研究得出以下结论:

(1) 出现错误反应后,被试并没有采取保守的策略,即通过延长反应时间来提高反应的正确率,相反,错误后反应的反应时延长,正确率同时有所下降。

(2) 刺激同一性和 RSI 作为自下而上的刺激驱动在 PES 的产生过程中发挥了作用。

## 参考文献

- Band, G. P. H., van der Molen, M. W., & Logan, G. D. (2003). Horse-race model simulations studies of the stop signal procedure. *Acta Psychologica*, 112(2), 105-142.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-652.
- Ciesielski, K. T., Rowland, L. M., Harris, R. J., Kerwin, A. A., Reeve, A., & Knight, J. E. (2011). Increased anterior brain activation to correct response on high-conflict Stroop task in obsessive-compulsive disorder. *Clinical Neurophysiology*, 122(1), 107-113.
- Danielmeier, C., & Ullsperger, M. (2011). Post-error adjustments. *Frontier in Psychology*, 2, 1-10.
- Dudschig, C., & Jentsch, I. (2009). Speeding before and slowing after errors: Is it all just strategy? *Brain Research*, 1296, 56-62.
- Dutilh, G., Vandekerckhove, J., Forstmann, B. U., Keuleers, E., Brysbaert, M., & Wagenmakers, E. (2012). Testing theories of post-error slowing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(2), 454-465.
- Hajcak, G., & Simons, R. F. (2008). Oops!.. I did it again: an ERP and behavioral study of double-errors. *Brain and Cognition*, 68(1), 15-21.
- Jentsch, I., & Dudschig, C. (2009). Why do we slow down after an error? Mechanisms underlying the effects of posterror slowing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 209-218.
- Jentsch, I., & Leuthold, H. (2005). Response conflict determines sequential effects in serial response time tasks with short response-stimulus intervals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(4), 731-748.
- Jones, A. D., Cho, R. Y., Nystrom, L., Cohen, J. D., & Braver, T. (2002). A computational model of anterior cingulate function in speeded response tasks: Effects of frequency, sequence, and conflict. *Cognitive, Affective, Behavioral Neuroscience*, 2(4), 300-317.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W.

- 3rd. , Cho, R. Y. , Stenger, V. A. , & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303, 1023 – 1026.
- Kerns, J. G. (2006) Anterior cingulate and prefrontal cortex activity in an fMRI study of trial-to-trial adjustments on the Simon task. *NeuroImage*, 33(1), 399 – 405.
- Laming, D. (1979). Choice reaction performance following an error. *Acta Psychologica*, 43 (3), 199 – 224.
- Notebaert W, Houtman, F., Opstal, F. V., Gevers, W., Fias, W., & Verguts, T. (2009) Post – error slowing: An orienting account. *Cognition*, 111(3), 275 – 279.
- Peterson, B. S., Kane, M. J., Alexander, G. M., Lacadie, C., Skudlarski, P., Leung, H., May, J. & Gore, J. C. (2002). An event-related functional MRI study comparing interference effects in the Simon and Stroop tasks. *Cognitive Brain Research*, 13(3), 427 – 440.
- Rabbitt, P. M. (1966). Error Correction Time without External Error Signals. *Nature*, 212, 438.
- Seifert, S., Von Cramon, D. Y., Imperati, D., Tittgemeyer, M., & Ullsperger M. (2011). Thalamocingulate interactions in performance monitoring. *The Journal of Neuroscience*, 31(9), 3375 – 3383.

## The Influences of Stimuli Consistency on Post – Error Response

LIU Yu – li<sup>1,2</sup> ZHANG Zhi – jun<sup>2</sup> ZHAO Ya – jun<sup>2</sup> ZHAO Jun – bang<sup>2</sup>

(1. Department of Psychology, Zhejiang Sci – Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Department of Psychological and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310018, China)

### Abstract

People usually slow down their responses after having committed an error for the sake of responding flexibly to the changes cropping in the environment. The match or mismatch of stimuli between error trials and post – error trials and the level of RSI (response-stimuli interval) were manipulated to examine their effects on post – error performances. It was found that subjects slowed down their responses after error trails, but the rate of correct response didn't increase as the cognitive control hypothesis assumed. PES (post-error slowing) decreased when the stimuli in

the previous error trial was matched with the current stimuli, same in the situation that RSI increased. The results indicated that PES was affected not only by RSI, but also stimuli consistency between error trials and post – error trials. It was concluded that both stimulus properties and cognitive control lead a combined effect on the variation of post-error responses.

**Key words:** post – error slowing, stimulus consistency, cognitive control