

动机在错误加工中的不一致效应：争议与整合*

李亚琴 赵若兰 杨 庆

(曲阜师范大学心理学院, 山东 曲阜 273165)

摘 要 错误加工(error processing)是个体探测错误发生并进行针对性调整的高级认知过程。大量研究表明, 动机(如奖励、惩罚等)能够影响错误加工过程, 但结果并不一致。本文在梳理和比较以往研究的基础上提出, 年龄、性别、实验设计、人格和文化等因素可能影响动机与错误加工的关系。通过进一步整合, 提出任务相关性(task relevance)可能是潜在的共同作用机制, 即在与个体目标高相关的任务中, 动机越强则错误加工程度增强(如更大的 ERN、Pe 波幅); 而在低相关任务中, 动机对错误加工的影响较弱。在这一理论框架下, 上述因素可能通过影响任务相关性进而调节动机与错误加工的关系, 新观点的提出有助于解释动机与错误加工关系的矛盾结果。未来一是需要系统验证上述因素及任务相关性的作用, 二是关注不同类型错误和错误本身的动机作用, 三是进一步探究动机与认知因素如何共同影响错误加工, 这些将有助于完善和推进动机取向的错误加工理论。

关键词 错误加工, 动机, 错误相关负波, 错误正波, 任务相关性

分类号 B842

1 引言

日常生活中, 错误在所难免。一般来说, 错误令人厌恶且具有威胁性(Proudfit et al., 2013)。当个体犯错时, 大脑会及时监测(即错误监控, error monitoring)并进行针对性调整(即错误后调整, post-error adjustment)以减少错误发生, 这些过程统称为错误加工(error processing; Falkenstein et al., 1991; Gehring et al., 2018)。错误加工涉及的脑区多而复杂, 不过, 很多研究证据表明错误加工与大脑突显网络(salience network)密切相关(Ham et al., 2013; Ullsperger et al., 2014)。例如, 一些研究发现, 错误加工与前扣带回(anterior cingulate cortex, ACC)、前辅助运动区(pre-supplementary motor area, pre-SMA)和背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC)的神经活动有关(Carter et al., 1998; Fu et al., 2019, 2023;

Garavan et al., 2002; Hayden et al., 2011; Kerns et al., 2004; Wang et al., 2005)。还有一些研究显示错误加工也涉及脑岛(insula) (Bastin et al., 2017; Klein et al., 2007; Koban et al., 2013; Späti et al., 2014)和腹侧纹状体(ventral striatal) (Chevrier et al., 2019; Fouragnan et al., 2018; Greenberg et al., 2015; Niv et al., 2012; Park et al., 2010; Rutledge et al., 2017; Santo-Angles et al., 2021; Schlagenhauf et al., 2013)的神经活动。一般来说, 前扣带回和前辅助运动区主要负责错误监控过程, 即对错误的识别和监测等(综述见 Fu et al., 2023), 而脑岛和背外侧前额叶主要负责错误后的行为调整(Carter et al., 1998; Ridderinkhof et al., 2004; Yeung et al., 2004; 王丽君 等, 2019), 腹侧纹状体则主要参与预期错误和奖惩评估有关的加工(Greenberg et al., 2015; Park et al., 2015; Simões-Franklin et al., 2010)。

错误加工一是可通过上述脑区激活情况进行表征, 二是还可通过一些行为指标和脑电成分进行表征(见表 1)。行为指标主要包括正确率/错误率(包含总体正确率、错误后正确率、正确后正确率)和错误后减慢(post-error slowing, PES)等

收稿日期: 2023-02-24

* 国家自然科学基金青年项目(32100872); 山东省高等学校“青创团队计划”项目(2022RW038)。

通信作者: 杨庆, E-mail: yq99550@gmail.com

表 1 错误加工指标及动机类型

动机类型	错误加工脑激活指标	错误加工脑电成分	错误加工行为指标
惩罚或奖励诱发的动机	ACC、dlPFC 等	特异成分: ERN、Pe	总体正确率、错误后正确率
应激诱发的动机		非特异成分: N2、FRN	正确后正确率、错误后减慢

注: 总体正确率是指个体在整个任务过程中的正确率, 反映总体表现情况; 错误后正确率是指当前试次错误后, 其下一试次的正确率, 表征错误后的调整情况; 正确后正确率是指当前试次正确后, 其下一试次的正确率, 表征正确后的行为调整情况, 可以与错误后正确率进行对比; 错误后减慢是指当前试次错误后, 在下一试次的反应时显著增长的情形, 表征错误后行为调整情况。

(Rabbitt, 1966)。经典的脑电成分(ERP)主要包括错误相关负波(error-related negativity, ERN/Ne)和错误正波(error positive, Pe)。ERN 是在错误反应后的 100 ms 内出现的负偏转的 ERP 成分(Falkenstein et al., 1991; Gehring et al., 1993), 定位于前扣带回的尾部(van Boxtel et al., 2005), 反映初始或自动的错误探测(Bernstein et al., 1995)。Pe 是在错误反应后 200~400 ms 间出现的正偏转成分, 反映有意识的错误探测(Overbeek et al., 2005), 主要位于前扣带回的喙部(rostral anterior cingulate, rACC; Mathewson et al., 2005; O'Connell et al., 2007)。研究表明, ERN 和 Pe 的具体功能有所差别(Overbeek et al., 2005), 一些学者认为 Pe 与有意识的错误识别有关, 而 ERN 不受错误意识影响, 即无论是否意识到错误都会出现(Nieuwenhuis et al., 2001; Overbeek et al., 2005)。

此外, 还有一些脑电成分虽然不是错误加工的特异指标, 但与错误加工存在关联(如 N2、FRN)(Folstein & van Petten, 2008; Talmi et al., 2013), 本文也将符合主题的相关文献纳入分析。N2 是由冲突刺激引发的一种呈负偏转的、刺激锁时的 ERP 成分(刺激后约 200~300 ms 出现), 表征冲突监控过程(Donkers & van Boxtel, 2004; Yeung & Cohen, 2006)。反馈相关负波(feedback-related negativity, FRN)是由反馈刺激(结果)引发的一种呈负偏转的、反馈锁时的 ERP 成分(反馈后约 250 ms 出现)(Nieuwenhuis et al., 2004; 朱树青等, 2019), 表征预期错误和结果评价过程(Hajcak et al., 2006; 李丹阳等, 2018; 李鹏, 李红, 2008)。已有研究表明, N2、FRN 与 ERN 有一部分共享的神经基础(如 ACC 激活)(Potts et al., 2011; Yeung et al., 2004), 表明它们与错误加工过程可能存在关联。例如, 一些研究采用停止-信号范式发现, 抑制失败(vs.抑制成功)的试次能够诱发更大的 N2 波幅(综述见 Folstein & van Petten,

2008; van Boxtel et al., 2001); 另一些研究采用时间估计任务发现, 错误结果(vs.正确结果)的反馈诱发了显著的 FRN 波幅(Miltner et al., 1997; 综述见: 李鹏, 李红, 2008)。不过, ERN (及 Pe)是表征错误加工的特异成分, 即由错误反应引发的一种反应锁时的 ERP 成分, 专门表征错误监控过程(Gehring et al., 2018), 而 N2 或 FRN 并不特定于错误加工, 因为它们还分别涉及冲突监控和结果评价过程。例如, 一项研究在 Flanker 任务中发现, ERN 的产生是以错误反应为前提的, 而 N2 可由一致与不一致的正确试次之间的反应冲突诱发(Yeung & Cohen, 2006); 也有一些研究在金钱赌博任务中发现, ERN 一般特定于错误的出现, 而 FRN 还与金钱结果反馈相关(Gehring & Willoughby, 2002; Nieuwenhuis et al., 2004)。

关于错误加工的理论解释, 早期一些学者主要从认知视角提出了错误监控理论(mismatch theory, 也称表征失匹配理论; Coles et al., 2001; Falkenstein et al., 1991)、冲突监控理论(conflict monitoring theory; Botvinick et al., 1999; Yeung et al., 2004)、强化学习理论(reinforcement learning theory; Holroyd & Coles, 2002)和行为适应假说(behavior-adaptation hypothesis; Nieuwenhuis et al., 2001; Rabbitt, 1966)等(综述见 Weinberg et al., 2012; 蒋军, 陈安涛, 2010; 刘春雷, 张庆林, 2009), 但该视角忽视了动机在错误加工中的作用。例如, 后续一些研究发现错误会激发防御动机, 产生一系列生理、心理变化, 如皮肤电增加、心率减慢和防御性惊跳反射增强等(Hajcak et al., 2003a, 2004; Hajcak & Foti, 2008), 这些现象难以从纯粹的认知视角解释。

因而, 后期一些学者尝试从动机视角解释错误加工, 提出了动机显著性理论(motivational significance theory)(如 Hajcak et al., 2005; Hajcak & Foti, 2008)。该理论认为, 错误本质上是一种威

胁性刺激，能够激发个体的防御反应，ERN 反映了带有动机性质的错误探测过程，是犯错后防御系统激活的早期信号，因此，ERN 波幅应当与错误的动机显著性密切相关(Olvet & Hajcak, 2008)。相关证据有，当个体的行为表现被他人评价时(Hajcak et al., 2005)，或者错误反应给予惩罚时(Endrass et al., 2010; Riesel et al., 2012)，ERN 波幅显著增大。

不过，目前关于动机与错误加工关系的研究存在诸多不一致结论。例如，一些研究发现奖励能够增大 ERN (Hajcak et al., 2005; Pailing & Segalowitz, 2004)、N2 波幅(Groom et al., 2010)，而另一些研究却发现奖励不影响 ERN (Holmes & Pizzagall, 2010)或 N2 (Rosch & Hawk, 2013)，甚至有时候降低了 ERN 波幅(Dikman & Allen, 2000)。此外，一些研究发现惩罚能够提升行为正确率(Simões-Franklin et al., 2010)，而另一些研究却发现惩罚降低了正确率(Liao et al., 2020)。在考察应激诱发的动机时，一些研究发现应激启动后 Pe (Cavanagh & Allen, 2008; Rodeback et al., 2020)、FRN 波幅减小(Paul et al., 2020)，而另一些研究却发现应激增强了 Pe (Dierolf et al., 2018; Hu et al., 2019)或 FRN 波幅(Glienke et al., 2015)。为了解释这些矛盾结果，文章首先梳理对比相关研究，分析导致不一致结论的原因，并尝试提出一些新的见解。

值得一提的是，在错误加工领域，动机和情绪时常一同出现，但研究侧重点不同。情绪研究主要关注焦虑、抑郁等负性情绪与错误加工的关系，而动机研究侧重于任务激励(如奖励或惩罚)对错误加工的影响。本研究主要关注动机，但也纳入部分动机和情绪共存的研究(如应激)。原因有以下两点，其一，动机与情绪密切相关，有时难以完全分离(Bradley & Lang, 2007; Buck, 2000)。例如，当个体处于厌恶或恐惧状态时，防御动机会被激活以应对威胁(Bradley & Lang, 2007)。其二，一些情绪概念往往涉及动机(Keltner & Lerner, 2010)。例如，应激是个体受到内部或外部威胁引起的一系列生理、心理变化，其中既有情绪体验也有动机反应，二者相生相伴、难以完全区别(Pacák & Palkovits, 2001; Selye, 1936; 李婷等, 2005)。因此，本研究主要梳理动机领域中比较经典的任务激励和应激对于错误加工的影响

(见表 1)。

2 动机影响错误加工的实证研究及不一致结论

2.1 奖励或惩罚动机在错误加工中的不一致结果

奖励对于错误加工影响的不一致结果主要体现在 ERN、N2 和脑激活指标上。关于 ERN, Hajcak 等(2005)在 Flanker 任务中设置一个奖励线索(5 分 vs. 100 分，分数对应金钱奖励)，结果发现，在奖励越大的条件犯错时，ERN 波幅更大。不过，Holmes 和 Pizzagall (2010)在 Stroop 任务中呈现类似的奖励线索(+ \$ vs. 0 \$)，且每个试次给予反馈，结果发现，被试(包含健康和重度抑郁症个体)在奖励(+ \$)和无奖励(0 \$)条件下的错误反应 ERN 波幅无显著差异。另外一项采用四选择字母任务(four-choice letter task)的研究中，被试在无动机条件(无金钱奖励)、相等动机条件(两类目标的奖励分配比例是 1 : 1)和不相等动机条件(两类奖励分配比例是 3 : 1 或 1 : 3)下完成相同任务，结果发现，在高尽责性个体中，奖励动机越强，则 ERN 波幅越小；而在高神经质个体中，奖励动机越强，ERN 波幅却越大(Pailing & Segalowitz, 2004)。关于 N2, Groom 等(2010)采用 Go/No-go 任务发现，金钱奖励条件相较于基线条件在呈现 no-go 刺激时诱发了更大的 N2 波幅；但 Rosch 和 Hawk (2013)采用 Flanker 任务发现，金钱奖励条件与基线条件在冲突刺激呈现时的 N2 波幅无显著差异。关于脑岛，Cho 等(2013)采用金钱奖励延迟任务发现，金钱奖励条件相较于基线条件有显著的脑岛激活；但 Eppinger 等(2013)采用奖励学习任务却未发现两种条件在脑岛的激活差异。

在惩罚动机有关的研究中，尽管大部分研究显示惩罚条件(相对于基线条件)下的错误有更大的 ERN 波幅(Hajcak & Foti, 2008; Meyer & Gawlowska, 2017; Riesel et al., 2012)，但在行为结果和 FRN 指标存在一些差异。例如，在行为结果方面，Simões-Franklin 等(2010)采用图形 Go/No-go 任务发现，金钱惩罚条件相较于控制条件有更低的错误率，行为表现更好；但 Liao 等(2020)采用 Stroop 任务却发现，电击惩罚条件下(相对于无惩罚条件)错误率显著增加，行为表现更差。在 FRN 指标上，Stürmer 等(2011)采用 Simon 任务发现，金钱惩罚相较于基线条件在呈现反馈时有更

大的ERN波幅;但Yi和Yu(2014)采用基于奖惩的线索-结果任务却发现,金钱惩罚相较于基线条件在呈现反馈时有更小的ERN波幅。

此外,一些同时操纵奖励和惩罚的研究中,在ERN、FRN和脑激活指标上都存在结果不一致现象。在ERN方面,一项研究采用字母Flanker任务发现,惩罚条件(错误反应失去0.5美元)相比奖励条件(正确反应获得0.5美元),错误反应诱发了更大的ERN波幅(Potts, 2011)。而另一项采用Simon任务的研究却发现,奖励条件(正确反应获得15欧分)相比惩罚条件(错误反应损失15欧分)诱发的ERN波幅更大(Stürmer et al., 2011)。还有一项同样采用字母Flanker任务的研究发现,低社会化(而非高社会化)被试在惩罚条件(错误反应伴随噪音)相比奖励条件(正确反应获得金钱)诱发的ERN波幅更小(Dikman & Allen, 2000)。在FRN方面,一项研究采用基于奖惩的线索-结果任务发现,奖励条件相比惩罚条件在呈现反馈时诱发了更大的FRN波幅(Yi & Yu, 2014)。而另一项研究采用基于奖惩的气球选择任务却显示,奖励与惩罚条件的FRN波幅无显著差异(Holroyd et al., 2004)。在ACC激活方面,有的研究采用激励转换任务发现,在认知控制过程中奖励条件(vs.惩罚条件)的ACC激活增强(Cubillo et al., 2019)。而有的研究采用确定性逆向学习任务(deterministic reversal learning task)却发现,惩罚条件(vs.奖励条件)的ACC激活增强(Xue et al., 2013)。在腹侧纹状体激活方面,有的研究采用确定性强化学习任务发现,精神分裂症和健康被试在奖励条件(vs.惩罚条件)下均有显著的腹侧纹状体激活(Park et al., 2015)。而有的研究采用金钱奖励延迟任务却显示,健康被试在奖励与惩罚条件的腹侧纹状体激活程度无显著差异(Carter et al., 2009)。

以上研究可见,奖励或惩罚动机对错误加工的影响存在诸多不一致结果,可能受到实验设计和人格等因素的调节,文章稍后具体分析。

2.2 应激诱发的动机在错误加工中的不一致结果

根据诱发方式的不同可将应激分为生理应激和心理应激(罗跃嘉等, 2013)。生理应激主要指躯体组织受到威胁或损伤时所产生的不愉快情绪体验和相关趋利避害动机反应(Tracey, 2005)。心理应激主要指社会威胁情境引起的一系列动机情绪反应,主要包括社会评价威胁、社会排斥和认

知压力等(Dickerson & Kemeny, 2004; Pruessner et al., 2010)。生理应激诱发任务主要有冷加压测验(Cold Pressor Test, CPT)、肘腕部冷加压技术(Cold Pressor Arm Wrap, CPAW)等;心理应激任务主要包括特里尔社会应激测试(Trier Social Stress Test, TSST)、蒙特利尔压力测试(Montreal Imaging Stress Task, MIST)以及学术能力测验等;复合应激(即生理和心理应激混合)任务则包括马斯特里赫特急性应激测试(Maastricht Acute Stress Test, MAST)、社会评估冷压测试(Socially Evaluated Cold-Pressor Test, SECPT)等(综述见:段海军等, 2017)。下文依据应激源的不同分别探讨应激相关动机对错误加工的影响。

心理应激对于错误加工的不一致影响表现在Pe、ERN和行为指标等方面。在Pe方面,Rodeback等(2020)采用TSST范式,通过面试和算术任务诱发应激状态,对照组进行相同时间的正念训练。在随后的Go/No-go任务中发现,应激组(vs.对照组)在犯错时Pe波幅显著减小。另一项研究同样以TSST范式诱发应激,让应激组被试处于一种冷漠和监控的状态,对照组则是非冷漠和无监控的情境,结果却发现,在后续的Go/No-go任务中应激组(vs.对照组)出现了更大的Pe波幅(Dierolf et al., 2018)。

在ERN方面,Hajcak等(2005)采用Flanker任务发现,相比无评价威胁条件,被试在评价威胁条件(即实验者实时评价被试表现)中的ERN波幅更大。而White等(2018)同样采用Flanker任务时发现,与无评价威胁条件相比,不确定评价威胁条件(即不明确告知被试的数学任务成绩是否低于平均水平)的ERN波幅更小,而确定评价威胁条件(即明确告知被试数学任务成绩低于平均水平)的ERN波幅更大。这些表明不同社会评价威胁对于错误加工的影响可能存在差异。

在行为指标方面,研究者采用TSST诱发心理应激,随后进行Go/No-go任务,结果发现,应激组与对照组在反应时和正确率上没有显著差异(Rodeback et al., 2020)。胡娜等(2020)亦采用TSST诱发应激,随后进行由Go/No-go改编的错误意识任务,结果发现,应激组(vs.对照组)的总体正确率和错误后正确率均下降。总体可见,目前在考察心理应激对于错误加工影响的研究中,尚存在诸多不一致结论。

心理应激对于错误加工影响的不一致结果还体现在 dIPFC 激活的差异。例如, 一项研究采用随机同步听觉系列加法测验(Paced Auditory Serial Addition Test, PASAT)诱发应激(目标刺激随机呈现以增加认知压力和焦虑), 发现应激条件(vs. 控制条件)下健康被试的 dIPFC 激活增强(Koric et al., 2012)。而另一项研究采用连续减法算数任务(serial subtraction arithmetic task)诱发应激(测验过程中还受到主试的监控和催促), 却发现应激条件(vs. 控制条件)下健康被试的 dIPFC 激活减弱(Vaisvaser et al., 2016)。

复合应激对于错误加工的不一致影响主要表现在 ERN、Pe 和 FRN 方面。在 ERN 和 Pe 方面, Hu 等(2019)采用 MAST 诱发应激(包括面试/演讲、手浸冷水和心算任务等复合应激源), 随后进行 Stroop 任务, 结果发现, 应激组相对于对照组的 ERN 波幅减小, Pe 波幅增大。而 Whitton 等(2017)亦采用 MAST 诱发应激, 随后进行 Flanker 任务, 结果发现, 不论是正常被试还是抑郁缓解被试, 在应激前后的 ERN 和 Pe 波幅均无显著差异。在 FRN 方面, Glienke 等(2015)采用 SECPT 诱发应激(包括手浸冷水和录像监控等复合应激源), 随后进行奖励学习任务, 结果发现, 应激组相对于控制组的 FRN 波幅增大。而 Paul 等(2020)同样采用 SECPT 诱发应激, 随后进行基于延迟反馈的奖励学习任务, 结果却发现应激组相对于控制组的 FRN 波幅减小。

综合来看, 目前应激对错误加工的影响也存在诸多不一致结论, 实验设计、人格差异等都是潜在影响因素。

3 为什么动机在错误加工中存在不一致效应?

3.1 年龄和性别的影响

年龄可能部分解释动机在错误加工中的不一致效应。相关证据如下: 一项研究采用儿童样本, 通过低价值 vs. 高价值错误操纵动机显著性, 结果显示两种条件下 ERN 波幅没有显著差异(Torpey et al., 2009); 但另一项研究采用成人样本, 以类似方式操纵动机, 结果发现动机越强的条件下 ERN 波幅越大(Hajcak et al., 2005)。一项追踪研究显示, 动机与 ERN 的关系受到年龄调节(Lees et al., 2021)。具体来说, 个体在 6 岁时, 与趋近动

机有关的左优势半球激活越强, 则 ERN 波幅增大; 但在 8 岁时, 左优势半球激活越强, ERN 波幅反而越小。儿童正处于认知发展高速变化期, ACC 还未发育成熟(Ladouceur et al., 2007), 部分参与动机信息评估的 ACC 分区(如腹侧喙部扣带回)功能与成人可能有所差异, 对于奖惩信息的敏感性不同, 从而可能产生不一致的效应(Meyer et al., 2012; Velanova et al., 2008)。

性别差异也可能影响研究结果。例如, 一些仅包含男性样本的研究发现, 应激使得 dIPFC 的激活减弱(如 Vaisvaser et al., 2016), 或损害了错误加工任务的行为表现(如: 胡娜 等, 2020)。而一些同时包含男女性被试的研究却发现, 应激使得 dIPFC 激活增强(如 Koric et al., 2012), 但并未显著影响行为表现(如 Rodeback et al., 2020)。一方面, 已有研究发现, 尽管在错误发生时男性的 ERN 波幅比女性更大, 但女性比男性有更高的行为正确率(Imburgio et al., 2020), 且女性比男性有更显著的错误后减慢现象, 显示出更好的错误后调整适应能力(Fischer et al., 2016; Imburgio et al., 2020)。这些说明男女性在错误监控神经表征和错误后行为调整等方面存在一些差异, 且脑电/脑激活和行为指标的变化不一定成正比关系, 显示出错误加工过程的复杂性。另一方面, 有研究显示急性应激会损害男性的认知灵活性, 而对女性没有显著影响(Shields et al., 2016)。由于应激会影响多巴胺系统(Abercrombie et al., 1989), 而多巴胺对前额叶皮层的执行功能(如工作记忆、认知灵活性)(综述见 Shansky & Lipps, 2013)和错误监控均具有重要影响(Holroyd & Coles, 2002), 且多巴胺活动存在性别差异(Kritzer & Creutz, 2008), 由此可能导致男女性在应激状态下的错误加工表现有所不同。同时, 研究发现, 在心理应激状态下(如 TSST 诱发), 女性比男性被试的注意力更集中(Kamp et al., 2021), 而持续性注意与错误加工密切相关(Chidharom et al., 2021), 因此, 在错误加工过程中, 男性或许比女性更容易受到应激状态的负面影响(如 dIPFC 激活减弱), 产生较差的行为表现。

3.2 实验设计的影响

其一, 不同错误加工范式的性质存在些许差异, 进而可能影响动机与错误加工的关系。比如, 在复合应激研究中(MAST 诱发), 当采用 Flanker

任务时,并未发现应激显著影响 ERN 和 Pe 波幅(Whitton et al., 2017);而采用 Stroop 任务时却发现,应激导致 ERN 波幅显著减小、Pe 波幅增大(Hu et al., 2019)。再如,在奖励动机研究中,当采用 Go/No-go 任务时,奖励导致 N2 波幅增大(Groom et al., 2010);而采用 Flanker 任务时,并未发现奖励显著影响 N2 波幅(Rosch & Hawk, 2013)。虽然 Flanker、Stroop 和 Go/No-go 任务都是研究错误加工的常用范式,但具体属性存在一些差别(Erb et al., 2023; Moran et al., 2017)。Flanker 任务涉及相邻刺激的冲突加工,即目标刺激与相邻干扰刺激不一致时出现反应冲突(如>><<);但 Stroop 任务中目标刺激和干扰刺激是同一对象的不同属性(如“绿”的字义与背景颜色不一致时),涉及语义冲突加工,被试需花费较多选择性注意资源来过滤干扰信息;而 Go/No-go 任务涉及两种反应类型(go 和 no-go),不仅 no-go 试次中存在冲突加工,且 go 和 no-go 试次之间也存在转换和运动抑制,被试需调动更多的认知控制资源来完成任务。因此,相对于较为简单的 Flanker 任务,Stroop 和 Go/No-go 任务或许更容易受到外部动机的影响。未来尚需更多实证研究为此推测提供直接证据。

其二,具体诱发方式的不同也可能影响应激与错误加工的关系。例如,同样采用 Flanker 任务时,有的研究发现心理应激(社会评价威胁)使得 ERN 波幅显著增大(Hajcak et al., 2005),而复合应激(MAST 诱发)未能显著影响 ERN (Whitton et al., 2017)。生理和心理应激属于两种不同应激源(Kogler et al., 2015):生理应激使得机体暂停或减缓某些生理活动,以充分调动运动感觉加工等激发“战或逃”的防御动机反应;而心理应激则激发个体满足社会需求的动机,使得大脑将注意资源转向情绪、认知控制,服务于目标导向行为。因此,社会性动机可能比生理复合性动机的作用更持续、影响更大。因此,这或许可以部分解释为何某些采用心理应激的研究发现 ERN 波幅显著增大(如 Hajcak et al., 2005),而一些复合应激(生理与心理混合)研究并未发现此类趋势(如 Whitton et al., 2017)。

其三,实验设计中的逐个试次反馈(即每一试次告知被试结果)也可能影响研究结果。在奖励动机研究中,当研究者未给予被试逐个试次反馈时,结果发现奖励条件能够增强 ERN 波幅(Hajcak

et al., 2005);而当存在逐个试次反馈时,奖励条件下的 ERN 波幅未出现显著变化(Holmes & Pizzagalli, 2010)。大量研究表明,个体犯错时会产生焦虑体验,进而影响 ERN 波幅(Hajcak et al., 2003b; Riesel et al., 2017; Weinberg et al., 2010),而逐个试次反馈能够调节焦虑与 ERN 的关系,即在没有逐个试次反馈时,焦虑与 ERN 波幅呈正相关,反之,焦虑与 ERN 不相关(Olvet & Hajcak, 2009)。动机与情绪关系密切(Proudfit et al., 2013),当未采用逐个试次反馈时,结果的未知性能够增强焦虑情绪,进而提升防御动机水平,使得 ERN 波幅增大;而逐个试次反馈缓解了焦虑水平,使得个体对于错误的价值评估较低,从而可能削弱动机对 ERN 的影响。相关证据有, Jackson 等(2015)发现,不确定状态能够增强焦虑体验和错误监控水平(即 ERN 波幅增大),此结果在 Speed 等(2017)研究中得到验证。

其四,对照条件的不同可能影响研究结果。例如,在应激研究中, Rodeback 等(2020)采用 Go/No-go 任务发现,应激组(TSST 诱发)相比对照组的 Pe 波幅更小;但 Dierolf 等(2018)采用同样范式却发现,应激组(TSST 诱发)相比对照组的 Pe 波幅更大。原因可能是前者以正念条件作为对照,而后者是以较柔和的 TSST 条件(即被试处于非冷漠和无监控的情境)为对照。已有研究显示,正念可以缓解应激等负性情绪体验或反应(如皮质醇反应减弱、焦虑体验减少; Brown et al., 2012),并且能够促进注意和错误监控(如 Pe 波幅增大; Lin et al., 2019),因此,正念条件相比其他条件其错误加工强度可能不同,从而影响研究结果。

其五,奖惩刺激属性的不同也可能影响研究结果。例如,在惩罚动机研究中, Simões-Franklin 等(2010)发现,被试在金钱惩罚条件下的正确率提升、行为表现较好;而 Liao 等(2020)却发现被试在电击惩罚条件下的错误率增加、行为表现变差。原因可能是,生理性惩罚(电击)相对于金钱惩罚的威胁性更大、更直接(Willems et al., 2021),从而引起更强的趋避动机,削弱行为抑制系统的适应性功能,进而损害正常的认知控制功能,削弱行为表现。再如,在同时操纵奖惩的研究中, Cubillo 等(2019)发现被试在金钱奖励(vs. 金钱惩罚)中的 ACC 激活更强;而 Xue 等(2013)发现被试在电击惩罚(vs. 金钱奖励)中的 ACC 激活强度更

大。前者以金钱进行对比,而后者是以金钱和电击进行对比。已有研究显示,ACC的激活强度受到刺激类型(如喜欢的果汁 vs.金钱)的影响(Metereau & Dreher, 2013),而金钱和电击的属性显然不同,因而刺激类型的不同可能影响ACC反应。

综上,实验设计方面的诸多差异都可能造成动机与错误加工关系的不一致结果,未来研究在设计细节上需要注意考虑这些潜在的影响因素。

3.3 人格的调节作用

研究显示,人格能够调节动机与错误加工的关系(Dikman & Allen, 2000; Holmes & Pizzagalli, 2010; Ladouceur et al., 2006; Meyer & Gawlowska, 2017; Pailing & Segalowitz, 2004)。例如, Pailing 和 Segalowitz (2004)发现,在高神经质个体中,奖励动机越强,则ERN波幅增大;但在高尽责性个体中,奖励动机越强,ERN波幅却减小。研究者认为,相比于高神经质个体,高尽责性个体对错误显著性(或错误价值)的变化较不敏感(即不易受外在奖励影响),从而削弱奖励动机对于ERN的影响。Dikman 和 Allen (2000)发现,低社会化被试在惩罚条件(vs.奖励条件)下的ERN波幅减小,而高社会化被试在这两种条件中的ERN波幅无显著差异。研究者推测,当犯错受到惩罚时,低社会化个体可能不太担心犯错后果,从而较少监控自己的错误反应,体现在ERN波幅的减小;而高社会化个体可能对于奖惩都很在意,在两种条件中均密切监控错误反应,出现ERN波幅无显著差异的结果。

另外,奖惩敏感度的差异也可能影响实验结果。行为趋避系统(Behavioral Inhibition System, BIS)对于惩罚信号较为敏感,抑制潜在的有害行为;而行为趋近系统(Behavioral Approach System, BAS)对于奖励信号更为敏感,促进有利的行为(Boksem et al., 2006; Elliot & Thrash, 2002)。研究表明,高奖励敏感度(BAS)的被试在奖励条件下(vs.惩罚条件)的ERN波幅更大,而高惩罚敏感度(BIS)的被试在惩罚条件下(vs.奖励条件)的ERN波幅更大(Boksem et al., 2008)。一些奖励有关的研究发现,奖励条件下健康个体的ERN波幅显著增大(Hajcak et al., 2005),而抑郁个体的ERN波幅未受奖励影响(Holmes & Pizzagalli, 2010)。原因可能是,抑郁个体纹状体激活的减弱导致其对奖励信息不敏感,使得错误加工活动受奖励影响程

度较低(Foti & Hajcak, 2009; Keren et al., 2018)。

另一些惩罚有关的研究发现,惩罚条件下焦虑和抑郁个体相对于健康个体的ERN波幅更大(Chiu & Deldin, 2007; Meyer & Gawlowska, 2017)。原因可能是,焦虑和抑郁个体对负面刺激过度敏感(Ladouceur et al., 2006; Tobias & Ito, 2021),与健康个体相比,可能夸大错误威胁感知,造成惩罚情境中的ACC过度激活,进而引起ERN波幅的异常增大。以上研究表明人格差异能够影响动机与错误加工的关系。

3.4 文化因素的影响

文化可能调节动机与错误加工的关系。例如,在奖励动机研究中,Kitayama 和 Park (2014)发现,欧美被试在自我条件(为自己获取奖励)相比朋友条件(为朋友获取奖励)有更显著的ERN激活,并出现错误后减慢现象,而亚洲被试却没有出现以上现象。研究者认为(参见 Markus & Kitayama, 1991),欧美被试(偏向个体主义文化)相对于亚洲被试(偏向集体主义文化)更加强调个人的独立性和人我区别(比如自我和朋友的区别很大),当欧美被试是直接受益人时(即为自己获益),奖励诱发的动机显著强于朋友获益的情形,出现错误监控和错误后调整增强的现象。而亚洲人所处的文化背景更加强人我之间的相互依赖性,甚至将亲密他人纳入自我概念,削弱了自我中心动机效应,使得自我 vs. 朋友获益条件下的错误加工程度相当。

再如,在一些社会评价威胁研究中,欧美被试在威胁条件(vs.无威胁条件)下的ERN波幅减小(如 Park et al., 2009),而东亚被试的ERN波幅增大(如 Park & Kitayama, 2014)。Park 和 Kitayama (2014)认为,社会评价威胁能够激发防御动机来对抗评价担忧,但不同文化背景的个体可能采取不同的应对策略。例如,欧美被试可能通过减少对错误的关注来减轻威胁体验,而东亚被试会更严密地监视错误来应对威胁。进一步讲,欧美文化偏向于独立型自我建构(Markus & Kitayama, 1991),社会注视或社会评价可能暴露自我的脆弱性,从而损伤自我的独立性和自主性,所以在社会评价威胁情境中,个体倾向于通过降低对当前错误的警惕和关注(如出现ERN波幅减小)来保护自我概念。相反,在集体主义文化中,自我评价与社会评价密不可分,在社会评价威胁情境中,东

亚被试可能更加在意自己的表现来维护“面子”，从而增强对错误的注意和监控。与此解释相一致的证据有，Rapp 等(2021)发现，在美国青少年群体中(拉丁裔 vs. 亚裔 vs. 非拉丁裔白人)，集体主义文化倾向越强的个体在社会显著性错误(socially-salient errors)中的错误监控表征更强(ERN 波幅增大)。因此，在考察动机与错误加工的关系时有必要考虑研究对象所处的文化背景。

总的来看，年龄、性别、实验设计、人格和文化因素等都可能影响动机与错误加工的关系，在一定程度上解释动机对错误加工的不一致效应。

4 总结与展望

本文主要目的是探讨动机在错误加工中的不一致效应及其原因。文章通过梳理和比较先前研究发现，动机对错误加工的影响可能受到年龄、性别、实验设计、人格和文化等因素的调节，它们可能是导致研究结果不一致的重要原因。未来还需要从以下几个方面进行深入探讨。

4.1 进一步系统检验前述影响因素和探究共同作用机制

以往研究较少探究动机与错误加工关系的调节变量，未来可系统检验本研究所述的影响因素的作用，并探索潜在的共同作用机制。通过归纳和比较这些因素，本研究认为任务相关性可能是一个重要的共同作用机制。

任务相关性(task relevance)是指动机指向与错误后果的绑定程度(杨庆, 李亚琴, 2023)。在高相关任务中(即动机指向与错误后果关联性较高)，比如那些错误将导致直接的奖励或惩罚的情形，任务激励能够明确增加错误价值，进而增强错误监控强度；而在低相关任务中(即动机指向与错误后果关联性较低)，比如错误后果与动机操纵没有明确关联的情形(如先诱发应激而后做一个与此无关的错误加工任务)，由于错误敏感性或错误价值未能明确提升，因而无法增强，甚至削弱(由于分散注意力)错误监控强度(杨庆, 李亚琴, 2023)。有一些较为直接的证据支持该假设。例如，在Yang 等(2019)的研究中，首先通过情境诱发自我不确定性(不确定组 vs. 对照组)，而后进行一项Stroop 任务，通过指导语操纵 Stroop 任务与被试自尊的相关性(高相关 vs. 低相关；比如在高相关

条件下告知被试该任务表现能有效预测学业能力)。结果发现，自我不确定性的诱发能够增强自尊追求动机，使个体在自尊高相关(而不是低相关)Stroop 任务中的错误监控程度增强(Pe 波幅增大)、反应正确率提高。该研究说明任务相关性可能调节动机与错误加工的关系。

举例来说，文化因素可能通过任务相关性这一机制调节动机与错误加工的关系。例如，研究发现，相比于为朋友获益时，欧美被试在为自己获益的条件下有更强的提升任务表现的动机，使得ERN 波幅显著增大，而亚洲被试在这两种条件下的ERN 波幅无显著差异(Kitayama & Park, 2014)。文化因素可能直接影响了动机指向性与错误加工任务的关联程度，比如，欧美文化个体更加重视自我相关情境、忽视他人相关情境，从而在后续错误加工任务中的注意投入有所差别，造成ERN 的差异。另外，在一些社会评价威胁研究中，欧美被试在威胁条件(vs. 无威胁条件)中的ERN 波幅减小(如 Park et al., 2009)，而东亚被试的ERN 波幅增大(如 Park & Kitayama, 2014)。原因可能是，集体主义相对于个体主义文化，个体对于威胁感知更敏感(Kitayama & Park, 2010; Mendes & Park, 2014; Na & Kitayama, 2012)，在他人注视或评价威胁情境中更易将错误与个人地位、“面子”相联系，增强了错误后果与个人评价动机的相关性，进而增强错误监控程度。

从任务相关性的角度考察前述影响因素是否以交互作用的方式影响动机与错误加工的关系，也是非常有意义的。例如，研究显示，女性比男性有更强的互依型自我建构(interdependent self-construal)，而男性比女性更易形成独立型自我建构(independent self-construal) (Cross & Madson, 1997; Guimond et al., 2007)。互依型自我建构对社会情境信息较为敏感，而独立型自我建构对自我有关的信息更敏感(Markus & Kitayama, 1991)。因此，性别与文化属性可能交互影响情境(任务)的相关性，进而影响动机与错误加工的关系。例如，在社会威胁情境中，女性相比男性可能对该情境中的错误更为敏感，即任务相关性增加，从而在动机增强时，错误监控程度强于男性；反之，在自我相关情境中(如涉及自我利益)，可能出现相反的趋势。

未来可从这些方面进一步深入探究和解决动机与错误加工关系不一致的问题。

4.2 深入揭示动机对不同类型错误的特异性影响

错误存在不同类型,可能也有加工差异。例如,在快速反应任务中可以区分有意识错误和无意识错误。部分研究显示,只有当意识到错误发生时才会出现显著的Pe波幅和错误后减慢现象,而无论是否意识到错误时ERN都可能出现(Hoonakker et al., 2016; 综述见: 韩明秀, 贾世伟, 2016)。行为数据显示,意识到的错误的反应时显著快于未意识到的,研究者认为,此现象是由于两种错误的产生来源存在差异造成的: 未意识到的错误主要因为持续性注意缺失引起,而意识到的错误主要由抑制反应失败引起(Hoonakker et al., 2016)。王丽君等(2020)进一步发现,意识到的和未意识到的错误对错误后调整策略的影响不同。当个体意识到错误时,可能采用类似主动性控制的策略(即处于持续的注意监控状态)调节错误后行为,而未意识到错误可能采用类似反应性控制策略(即任务引起的暂时注意控制)进行调整。

以上研究表明错误类型能够影响个体的错误监控方式和调整策略,不过这些研究未关注动机的作用。结合前人研究(Hoonakker et al., 2016; 王丽君等, 2020),我们推测,动机对错误加工的作用可能也受错误类型的影响。例如,一项研究发现,高惩罚条件相比于低惩罚条件下,意识到的错误的反应时减慢,而未意识到的错误的反应时却加快(Blaukopf & DiGirolamo, 2006)。这些提示不同的错误类型也可能影响动机与错误加工的关系,未来值得深入探讨。

4.3 关注错误本身的动机作用

以往研究多以任务激励(如惩罚/奖励)或情境启动(如应激)的方式诱发动机,忽略了错误本身的动机作用。一方面,错误本身既具有威胁性,又具有偶然性,与新异刺激(如惊讶)的产生和作用机制相似(Parmentier et al., 2019; Wessel et al., 2012)。例如,一些研究发现错误和新异刺激都能够引发朝向反应(Notebaert et al., 2009),且二者存在重合的神经基础(如前中扣带皮层、前辅助运动区; Wessel et al., 2012)。研究进一步发现,错误后减慢可能是由惊讶(surprise)造成的,因为错误作为偶发事件能够吸引个体注意力,引发朝向反应并暂时抑制正在进行的动作,以便对行动计划进行适应性重评,从而发生错误后减慢现象(Parmentier et al., 2019; Wessel et al., 2012)。另一方面,惊讶

是动机的来源之一,能够激发个体的兴趣或改变行为(Deci & Ryan, 1985)。但是,目前对错误中惊讶成分诱发的动机现象关注较少,研究者尚未对错误自身的动机成分进行界定,未能将这种内生动机与外在诱发动机(如任务激励)进行分离,从而还不清楚内生 vs. 外部动机对于错误加工是否有不同的作用,未来对这一方面的关注可能开辟错误加工动机理论的新视角。

4.4 探究动机与认知如何共同影响错误加工

错误加工可能是动机与认知因素共同作用的结果(也见: 杨庆, 李亚琴, 2023)。首先,动机能够显著影响注意过程。例如, Liao 等(2020)发现惩罚能够损害注意任务的行为表现; Qi 和 Gao (2020)发现应激的诱发能够促进注意控制加工。而注意又在错误加工过程中发挥重要作用(Chidharom et al., 2021; Xiao et al., 2015), 比如, Xiao 等(2015)发现个体的持续性注意水平越高时,ERN波幅越大。由此,动机可能与注意相互作用进而影响错误加工过程。

另外,动机还与记忆过程紧密相关(Szatkowska et al., 2008),比如奖励相关的信息更容易被回忆和再认(综述见 Miendlarzewska et al., 2016)。同时,研究显示,在任务目标受到干扰时,工作记忆有助于目标的维持、监测和刷新,工作记忆能力越强的个体,其ERN和Pe波幅越大(Miller et al., 2012)。尽管已知动机能够影响错误加工,但记忆在此过程中的具体作用尚不清楚。

因而,系统探究动机与认知因素以何种方式共同影响错误加工,以及认知能力差异(如注意力、工作记忆容量)能否解释动机在错误加工的不一致效应等,有助于进一步完善和推进动机取向的错误加工理论。

参考文献

- 段海军, 王雪微, 王博韬, 王彤星, 张心如, 王子娟, 胡卫平. (2017). 急性应激: 诱发范式、测量指标及效果分析. *心理科学进展*, 25(10), 1780-1790.
- 韩明秀, 贾世伟. (2016). 错误加工意识水平与错误相关脑电成分. *心理科学进展*, 24(11), 1758-1766.
- 胡娜, 陈安涛, 王宴庆, 李晴, 许珍珍, 龙泉杉. (2020). 急性应激损伤错误监控与错误后调整. *心理学报*, 52(2), 162-172.
- 蒋军, 陈安涛. (2010). 错误正波的神经发生源与功能意义解释. *心理科学进展*, 18(4), 569-577.
- 李丹阳, 李鹏, 李红. (2018). 反馈负波及其近10年理论解

- 释. *心理科学进展*, 26(9), 1642–1650.
- 李鹏, 李红. (2008). 反馈负波及其理论解释. *心理科学进展*, 16(5), 705–711.
- 李婷, 朱婉儿, 姜乾金. (2005). 心理应激的生物学机制研究进展. *中国行为医学科学*, 14(9), 862–864.
- 刘春雷, 张庆林. (2009). 错误加工的神经机制. *心理科学进展*, 17(2), 341–348.
- 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(5), 345–353.
- 王丽君, 胡学平, 索涛, 赵国祥, 陈安涛. (2019). 脑岛自发神经活动强度可预测个体错误后反应调整速度. *科学通报*, 64(21), 2207–2215.
- 王丽君, 索涛, 赵国祥. (2020). 未意识到错误影响错误后调整的电生理证据. *心理学报*, 52(10), 1189–1198.
- 杨庆, 李亚琴. (2023). 不确定是坏的么? 不确定状态中的错误加工特点及其解释机制. *心理科学进展*, 31(3), 338–349.
- 朱树青, 翟昱, 贾世伟. (2019). 反馈评估的局部背景依赖效应: ERP 研究. *心理学报*, 51(11), 1198–1206.
- Abercrombie, E. D., Keefe, K. A., DiFrischia, D. S., & Zigmond, M. J. (1989). Differential effect of stress on in vivo dopamine release in striatum, nucleus accumbens, and medial frontal cortex. *Journal of Neurochemistry*, 52(5), 1655–1658.
- Bastin, J., Deman, P., David, O., Gueguen, M., Benis, D., Minotti, L., ... Jerbi, K. (2017). Direct recordings from human anterior insula reveal its leading role within the error-monitoring network. *Cerebral Cortex*, 27(2), 1545–1557.
- Bernstein, P. S., Scheffers, M. K., & Coles, M. G. (1995). "Where did I go wrong?" A psychophysiological analysis of error detection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1312–1322.
- Blaukopf, C. L., & DiGirolamo, G. J. (2006). Differential effects of reward and punishment on conscious and unconscious eye movements. *Experimental Brain Research*, 174(4), 786–792.
- Boksem, M. A., Tops, M., Kostermans, E., & de Cremer, D. (2008). Sensitivity to punishment and reward omission: Evidence from error-related ERP components. *Biological Psychology*, 79(2), 185–192.
- Boksem, M. A., Tops, M., Wester, A. E., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Error-related ERP components and individual differences in punishment and reward sensitivity. *Brain Research*, 1101(1), 92–101.
- Botvinick, M., Nystrom, L., Fissell, K., Carter, C., & Cohen, J. (1999). Conflict monitoring versus selection-for-action in anterior cingulate cortex. *Nature*, 402(6758), 179–180.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2007). Emotion and motivation. In J. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (2nd Ed., pp. 581–607). New York: Cambridge University Press.
- Brown, K. W., Weinstein, N., & Creswell, J. D. (2012). Trait mindfulness modulates neuroendocrine and affective responses to social evaluative threat. *Psychoneuroendocrinology*, 37(12), 2037–2041.
- Buck, R. (2000). Conceptualizing motivation and emotion. *Behavioral and Brain Sciences*, 23(2), 195–196.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D., & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, 280(5364), 747–749.
- Carter, R. M., Macinnes, J. J., Huettel, S. A., & Adcock, R. A. (2009). Activation in the VTA and nucleus accumbens increases in anticipation of both gains and losses. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 3, 21.
- 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.
- Chevrier, A., Bhaijiwala, M., Lipszyc, J., Cheyne, D., Graham, S., & Schachar, R. (2019). Disrupted reinforcement learning during post-error slowing in ADHD. *PLoS One*, 14(2), e0206780.
- Chidharom, M., Krieg, J., Pham, B. T., & Bonnefond, A. (2021). Conjoint fluctuations of PFC-mediated processes and behavior: An investigation of error-related neural mechanisms in relation to sustained attention. *Cortex*, 143, 69–79.
- Chiu, P. H., & Deldin, P. J. (2007). Neural evidence for enhanced error detection in major depressive disorder. *American Journal of Psychiatry*, 164(4), 608–616.
- Cho, Y. T., Fromm, S., Guyer, A. E., Detloff, A., Pine, D. S., Fudge, J. L., & Ernst, M. (2013). Nucleus accumbens, thalamus and insula connectivity during incentive anticipation in typical adults and adolescents. *Neuroimage*, 66, 508–521.
- Coles, M. G. H., Scheffers, M. K., & Holroyd, C. B. (2001). Why is there an ERN/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error processing. *Biological Psychology*, 56(3), 173–189.
- Cross, S. E., & Madson, L. (1997). Models of the self: Self-construals and gender. *Psychological Bulletin*, 122(1), 5–37.
- Cubillo, A., Makwana, A. B., & Hare, T. A. (2019). Differential modulation of cognitive control networks by monetary reward and punishment. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 14(3), 305–317.
- Deci, E., & Ryan, R. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York, NY: Plenum Press.
- 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.
- Dierolf, A. M., Schoofs, D., Hervas, E.-M., Falkenstein, M., Otto, T., Paul, M., ... Wolf, O. T. (2018). Good to be stressed? Improved response inhibition and error processing after acute stress in young and older men. *Neuropsychologia*, 119, 434–447.
- Dikman, Z. V., & Allen, J. J. (2000). Error monitoring during reward and avoidance learning in high- and low-socialized

- individuals. *Psychophysiology*, 37(1), 43–54.
- Donkers, F. C., & van Boxtel, G. J. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and Cognition*, 56(2), 165–176.
- Elliot, A. J., & Thrash, T. M. (2002). Approach-avoidance motivation in personality: Approach and avoidance temperaments and goals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(5), 804–818.
- Endrass, T., Schuermann, B., Kaufmann, C., Spielberg, R., Kniesche, R., & Kathmann, N. (2010). Performance monitoring and error significance in patients with obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychology*, 84(2), 257–263.
- Eppinger, B., Schuck, N. W., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2013). Reduced striatal responses to reward prediction errors in older compared with younger adults. *Journal of Neuroscience*, 33(24), 9905–9912.
- Erb, C. D., Germine, L., & Hartshorne, J. K. (2023). Cognitive control across the lifespan: Congruency effects reveal divergent developmental trajectories. *Journal of Experimental Psychology: General*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1037/xge0001429>
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6), 447–455.
- Fischer, A. G., Danielmeier, C., Villringer, A., Klein, T. A., & Ullsperger, M. (2016). Gender influences on brain responses to errors and post-error adjustments. *Scientific Reports*, 6(1), 1–11.
- Folstein, J. R., & van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152–170.
- Foti, D., & Hajcak, G. (2009). Depression and reduced sensitivity to non-rewards versus rewards: Evidence from event-related potentials. *Biological Psychology*, 81(1), 1–8.
- Fouragnan, E., Retzler, C., & Philiastides, M. G. (2018). Separate neural representations of prediction error valence and surprise: Evidence from an fMRI meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 39(7), 2887–2906.
- Fu, Z., Sajad, A., Errington, S. P., Schall, J. D., & Rutishauser, U. (2023). Neurophysiological mechanisms of error monitoring in human and non-human primates. *Nature Reviews Neuroscience*, 24(3), 153–172.
- Fu, Z., Wu, D. J., Ross, I., Chung, J. M., Mamelak, A. N., Adolphs, R., & Rutishauser, U. (2019). Single-neuron correlates of error monitoring and post-error adjustments in human medial frontal cortex. *Neuron*, 101(1), 165–177.
- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A., & Stein, E. A. (2002). Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: Inhibition, error detection, and correction. *NeuroImage*, 17(4), 1820–1829.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4(6), 385–390.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (2018). The error-related negativity. *Perspectives on Psychological Science*, 13(2), 200–204.
- Gehring, W. J., & Willoughby, A. R. (2002). The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science*, 295(5563), 2279–2282.
- Glienke, K., Wolf, O. T., & Bellebaum, C. (2015). The impact of stress on feedback and error processing during behavioral adaptation. *Neuropsychologia*, 71, 181–190.
- Greenberg, T., Chase, H. W., Almeida, J. R., Stiffler, R., Zevallos, C. R., Aslam, H. A., ... Phillips, M. L. (2015). Moderation of the relationship between reward expectancy and prediction error-related ventral striatal reactivity by anhedonia in unmedicated major depressive disorder: Findings from the EMBARC study. *American Journal of Psychiatry*, 172(9), 881–891.
- Groom, M. J., Scerif, G., Liddle, P. F., Batty, M. J., Liddle, E. B., Roberts, K. L., ... Hollis, C. (2010). Effects of motivation and medication on electrophysiological markers of response inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 67(7), 624–631.
- Guimond, S., Branscombe, N. R., Brunot, S., Buunk, A. P., Chatard, A., Désert, M., ... Yzerbyt, V. (2007). Culture, gender, and the self: Variations and impact of social comparison processes. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92(6), 1118–1134.
- Hajcak, G., & Foti, D. (2008). Errors are aversive: Defensive motivation and the error-related negativity. *Psychological Science*, 19(2), 103–108.
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2003a). To err is autonomic: Error-related brain potentials, ANS activity, and post-error compensatory behavior. *Psychophysiology*, 40(6), 895–903.
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2003b). Anxiety and error-related brain activity. *Biological Psychology*, 64(1-2), 77–90.
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2004). Error-related psychophysiology and negative affect. *Brain and Cognition*, 56(2), 189–197.
- Hajcak, G., Moser, J. S., Yeung, N., & Simons, R. (2005). On the ERN and the significance of errors. *Psychophysiology*, 42(2), 151–160.
- Hajcak, G., Moser, J. S., Holroyd, C. B., & Simons, R. F. (2006). The feedback-related negativity reflects the binary evaluation of good versus bad outcomes. *Biological Psychology*, 71(2), 148–154.
- Ham, T., Leff, A., de Boissezon, X., Joffe, A., & Sharp, D. J. (2013). Cognitive control and the salience network: An investigation of error processing and effective connectivity. *Journal of Neuroscience*, 33(16), 7091–7098.
- Hayden, B. Y., Heilbronner, S. R., Pearson, J. M., & Platt, M. L. (2011). Surprise signals in anterior cingulate cortex: Neuronal encoding of unsigned reward prediction errors driving adjustment in behavior. *Journal of Neuroscience*, 31(11), 4178–4187.
- Holmes, A. J., & Pizzagalli, D. A. (2010). Effects of

- task-relevant incentives on the electrophysiological correlates of error processing in major depressive disorder. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 10(1), 119–128.
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679–709.
- Holroyd, C. B., Larsen, J. T., & Cohen, J. D. (2004). Context dependence of the event-related brain potential associated with reward and punishment. *Psychophysiology*, 41(2), 245–253.
- Hoonakker, M., Doignon-Camus, N., & Bonnefond, A. (2016). Performance monitoring mechanisms activated before and after a response: A comparison of aware and unaware errors. *Biological Psychology*, 120, 53–60.
- Hu, N., Hu, X., Xu, Z., Li, Q., Long, Q., Gu, Y., & Chen, A. (2019). Temporal dynamic modulation of acute stress on error processing in healthy males. *Psychophysiology*, 56(9), e13398.
- Imburgio, M. J., Banica, I., Hill, K. E., Weinberg, A., Foti, D., & MacNamara, A. (2020). Establishing norms for error-related brain activity during the arrow Flanker task among young adults. *NeuroImage*, 213, 116694.
- Jackson, F., Nelson, B. D., & Proudfit, G. H. (2015). In an uncertain world, errors are more aversive: Evidence from the error-related negativity. *Emotion*, 15(1), 12–16.
- Kamp, S. M., Forester, G., Vatheuer, C. C., & Domes, G. (2021). Stress effects on the oddball P300 and N2 in males and females. *Biological Psychology*, 162, 108095.
- Keltner, D., & Lerner, J. S. (2010). Emotion. In S. T. Fiske, D. T. Gilbert, & G. Lindzey (Eds.), *Handbook of social psychology* (pp. 317–352). Hoboken, NJ: Wiley.
- Keren, H., O'Callaghan, G., Vidal-Ribas, P., Buzzell, G. A., Brotman, M. A., Leibenluft, E., ... Stringaris, A. (2018). Reward processing in depression: A conceptual and meta-analytic review across fMRI and EEG studies. *American Journal of Psychiatry*, 175(11), 1111–1120.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald III, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303(5660), 1023–1026.
- Kitayama, S., & Park, J. (2010). Cultural neuroscience of the self: Understanding the social grounding of the brain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 5(2-3), 111–129.
- Kitayama, S., & Park, J. (2014). Error-related brain activity reveals self-centric motivation: Culture matters. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(1), 62–70.
- Klein, T. A., Endrass, T., Kathmann, N., Neumann, J., von Cramon, D. Y., & Ullsperger, M. (2007). Neural correlates of error awareness. *Neuroimage*, 34(4), 1774–1781.
- Koban, L., Corradi-Dell'Acqua, C., & Vuilleumier, P. (2013). Integration of error agency and representation of others' pain in the anterior insula. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(2), 258–272.
- Kogler, L., Müller, V. I., Chang, A., Eickhoff, S. B., Fox, P. T., Gur, R. C., & Derntl, B. (2015). Psychosocial versus physiological stress—Meta-analyses on deactivations and activations of the neural correlates of stress reactions. *Neuroimage*, 119, 235–251.
- Koric, L., Volle, E., Seassau, M., Bernard, F. A., Mancini, J., Dubois, B., ... Levy, R. (2012). How cognitive performance-induced stress can influence right VLPFC activation: An fMRI study in healthy subjects and in patients with social phobia. *Human Brain Mapping*, 33(8), 1973–1986.
- Kritzer, M. F., & Creutz, L. M. (2008). Region and sex differences in constituent dopamine neurons and immunoreactivity for intracellular estrogen and androgen receptors in mesocortical projections in rats. *Journal of Neuroscience*, 28(38), 9525–9535.
- Ladouceur, C. D., Dahl, R. E., Birmaher, B., Axelson, D. A., & Ryan, N. D. (2006). Increased error - related negativity (ERN) in childhood anxiety disorders: ERP and source localization. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(10), 1073–1082.
- Ladouceur, C. D., Dahl, R. E., & Carter, C. S. (2007). Development of action monitoring through adolescence into adulthood: ERP and source localization. *Developmental Science*, 10(6), 874–891.
- Lees, T., Fry, C. M., Jetha, M. K., Segalowitz, S. J., & Gatzke-Kopp, L. M. (2021). Association between EEG asymmetry and the error-related negativity across middle childhood. *Biological Psychology*, 163, 108137.
- Liao, M. R., Grégoire, L., & Anderson, B. A. (2020). The influence of threat and aversive motivation on conflict processing in the Stroop task. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(6), 2802–2813.
- Lin, Y., Eckerle, W. D., Peng, L. W., & Moser, J. S. (2019). On variation in mindfulness training: A multimodal study of brief open monitoring meditation on error monitoring. *Brain Sciences*, 9(9), 226.
- Markus, H. R., & Kitayama, S. (1991). Culture and the self: Implications for cognition, emotion, and motivation. *Psychological Review*, 98(2), 224–253.
- Mathewson, K. J., Dywan, J., & Segalowitz, S. J. (2005). Brain bases of error-related ERPs as influenced by age and task. *Biological Psychology*, 70(2), 88–104.
- Mendes, W. B., & Park, J. (2014). Neurobiological concomitants of motivational states. *Advances in Motivation Science*, 1, 233–270.
- Metereau, E., & Dreher, J. C. (2013). Cerebral correlates of salient prediction error for different rewards and punishments. *Cerebral Cortex*, 23(2), 477–487.
- Meyer, A., & Gawłowska, M. (2017). Evidence for specificity of the impact of punishment on error-related brain activity in high versus low trait anxious individuals. *International Journal of Psychophysiology*, 120, 157–163.
- Meyer, A., Weinberg, A., Klein, D. N., & Hajcak, G. (2012). The development of the error-related negativity (ERN) and its relationship with anxiety: Evidence from 8 to 13 year-olds. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(1), 152–161.
- Miendlarzewska, E. A., Bavelier, D., & Schwartz, S. (2016).

- Influence of reward motivation on human declarative memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 61, 156–176.
- Miller, A. E., Watson, J. M., & Strayer, D. L. (2012). Individual differences in working memory capacity predict action monitoring and the error-related negativity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(3), 757–763.
- Miltner, W. H., Braun, C. H., & Coles, M. G. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a “generic” neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6), 788–798.
- Moran, T. P., Schroder, H. S., Kneip, C., & Moser, J. S. (2017). Meta-analysis and psychophysiology: A tutorial using depression and action-monitoring event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 111, 17–32.
- Na, J., & Kitayama, S. (2012). Will people work hard on a task they choose? Social-eyes priming in different cultural contexts. *Journal of Experimental Social Psychology*, 48(1), 284–290.
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P., & Kok, A. (2001). Error - related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38(5), 752–760.
- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., Holroyd, C. B., Schurger, A., & Cohen, J. D. (2004). Sensitivity of electrophysiological activity from medial frontal cortex to utilitarian and performance feedback. *Cerebral Cortex*, 14(7), 741–747.
- Niv, Y., Edlund, J. A., Dayan, P., & O’Doherty, J. P. (2012). Neural prediction errors reveal a risk-sensitive reinforcement-learning process in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 32(2), 551–562.
- Notebaert, W., Houtman, F., van Opstal, F., Gevers, W., Fias, W., & Verguts, T. (2009). Post-error slowing: An orienting account. *Cognition*, 111(2), 275–279.
- O’Connell, R. G., Dockree, P. M., Bellgrove, M. A., Kelly, S. P., Hester, R., Garavan, H., ... Foxe, J. J. (2007). The role of cingulate cortex in the detection of errors with and without awareness: A high - density electrical mapping study. *European Journal of Neuroscience*, 25(8), 2571–2579.
- Olvet, D. M., & Hajcak, G. (2008). The error-related negativity (ERN) and psychopathology: Toward an endophenotype. *Clinical Psychology Review*, 28(8), 1343–1354.
- Olvet, D. M., & Hajcak, G. (2009). The effect of trial-to-trial feedback on the error-related negativity and its relationship with anxiety. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(4), 427–433.
- Overbeek, T. J., Nieuwenhuis, S., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Dissociable components of error processing: On the functional significance of the Pe vis-à-vis the ERN/Ne. *Journal of Psychophysiology*, 19(4), 319–329.
- Pacák, K., & Palkovits, M. (2001). Stressor specificity of central neuroendocrine responses: Implications for stress-related disorders. *Endocrine Reviews*, 22(4), 502–548.
- Pailing, P. E., & Segalowitz, S. J. (2004). The error - related negativity as a state and trait measure: Motivation, personality, and ERPs in response to errors. *Psychophysiology*, 41(1), 84–95.
- Park, I. H., Chun, J. W., Park, H.-J., Koo, M.-S., Park, S., Kim, S. H., & Kim, J. J. (2015). Altered cingulo-striatal function underlies reward drive deficits in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 161(2-3), 229–236.
- Park, J., Gehring, W. J., & Kitayama, S. (2009). *Face priming modulates ERN in culture-specific ways*. Presented at joint workshop, Univ. Michigan and Kwansei Gakuin Univ., Ann Arbor, MI.
- Park, J., & Kitayama, S. (2014). Interdependent selves show face-induced facilitation of error processing: Cultural neuroscience of self-threat. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(2), 201–208.
- Park, S. Q., Kahnt, T., Beck, A., Cohen, M. X., Dolan, R. J., Wrase, J., & Heinz, A. (2010). Prefrontal cortex fails to learn from reward prediction errors in alcohol dependence. *Journal of Neuroscience*, 30(22), 7749–7753.
- Parmentier, F. B., Vasilev, M. R., & Andrés, P. (2019). Surprise as an explanation to auditory novelty distraction and post-error slowing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 148(1), 192–200.
- Paul, M., Bellebaum, C., Ghio, M., Suchan, B., & Wolf, O. T. (2020). Stress effects on learning and feedback - related neural activity depend on feedback delay. *Psychophysiology*, 57(2), e13471.
- Potts, G. F. (2011). Impact of reward and punishment motivation on behavior monitoring as indexed by the error-related negativity. *International Journal of Psychophysiology*, 81(3), 324–331.
- Potts, G. F., Martin, L. E., Kamp, S.-M., & Donchin, E. (2011). Neural response to action and reward prediction errors: Comparing the error - related negativity to behavioral errors and the feedback - related negativity to reward prediction violations. *Psychophysiology*, 48(2), 218–228.
- Proudfit, G. H., Inzlicht, M., & Mennin, D. (2013). Anxiety and error monitoring: The importance of motivation and emotion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 636.
- Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., ... Lupien, S. J. (2010). Stress regulation in the central nervous system: Evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations-2008 Curt Richter Award Winner. *Psychoneuroendocrinology*, 35(1), 179–191.
- Qi, M., & Gao, H. (2020). Acute psychological stress promotes general alertness and attentional control processes: An ERP study. *Psychophysiology*, 57(4), e13521.
- Rabbitt, P. M. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 71(2), 264–272.
- Rapp, A. M., Grammer, J. K., Tan, P. Z., Gehring, W. J., Chavira, D. A., & Miller, G. A. (2021). Collectivism is associated with enhanced neural response to socially

- salient errors among adolescents. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 16(11), 1150–1159.
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443–447.
- Riesel, A., Goldhahn, S., & Kathmann, N. (2017). Hyperactive performance monitoring as a transdiagnostic marker: Results from health anxiety in comparison to obsessive-compulsive disorder. *Neuropsychologia*, 96, 1–8.
- Riesel, A., Weinberg, A., Endrass, T., Kathmann, N., & Hajcak, G. (2012). Punishment has a lasting impact on error-related brain activity. *Psychophysiology*, 49(2), 239–247.
- Rodeback, R. E., Hedges-Muncy, A., Hunt, I. J., Carbine, K. A., Steffen, P. R., & Larson, M. J. (2020). The association between experimentally induced stress, performance monitoring, and response inhibition: An event-related potential (ERP) analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 189.
- Rosch, K. S., & Hawk, L. W. (2013). The effects of performance-based rewards on neurophysiological correlates of stimulus, error, and feedback processing in children with ADHD. *Psychophysiology*, 50(11), 1157–1173.
- Rutledge, R. B., Moutoussis, M., Smittenaar, P., Zeidman, P., Taylor, T., Hryniewicz, L., ... Dolan, R. J. (2017). Association of neural and emotional impacts of reward prediction errors with major depression. *JAMA Psychiatry*, 74(8), 790–797.
- Santo-Angles, A., Fuentes-Claramonte, P., Argila-Plaza, I., Guardiola-Ripoll, M., Almodóvar-Payá, C., Munuera, J., ... Radua, J. (2021). Reward and fictive prediction error signals in ventral striatum: Asymmetry between factual and counterfactual processing. *Brain Structure and Function*, 226(5), 1553–1569.
- Schlagenhauf, F., Rapp, M. A., Huys, Q. J., Beck, A., Wüstenberg, T., Deserno, L., ... Heinz, A. (2013). Ventral striatal prediction error signaling is associated with dopamine synthesis capacity and fluid intelligence. *Human Brain Mapping*, 34(6), 1490–1499.
- Selye, H. (1936). A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature*, 138(3479), 32–32.
- Shansky, R. M., & Lipps, J. (2013). Stress-induced cognitive dysfunction: Hormone-neurotransmitter interactions in the prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 123.
- Shields, G. S., Trainor, B. C., Lam, J. C., & Yonelinas, A. P. (2016). Acute stress impairs cognitive flexibility in men, not women. *Stress*, 19(5), 542–546.
- Simões - Franklin, C., Hester, R., Shpaner, M., Foxe, J. J., & Garavan, H. (2010). Executive function and error detection: The effect of motivation on cingulate and ventral striatum activity. *Human Brain Mapping*, 31(3), 458–469.
- Späti, J., Chumbley, J., Brakowski, J., Dörig, N., Grosse Holtforth, M., Seifritz, E., & Spinelli, S. (2014). Functional lateralization of the anterior insula during feedback processing. *Human Brain Mapping*, 35(9), 4428–4439.
- Speed, B. C., Jackson, F., Nelson, B. D., Infantolino, Z. P., & Hajcak, G. (2017). Unpredictability increases the error related negativity in children and adolescents. *Brain and Cognition*, 119, 25–31.
- Stürmer, B., Nigbur, R., Schacht, A., & Sommer, W. (2011). Reward and punishment effects on error processing and conflict control. *Frontiers in Psychology*, 2, 335.
- Szatkowska, I., Bogorodzki, P., Wolak, T., Marchewka, A., & Szeszkowski, W. (2008). The effect of motivation on working memory: An fMRI and SEM study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 90(2), 475–478.
- Talmi, D., Atkinson, R., & El-Dereby, W. (2013). The feedback-related negativity signals salience prediction errors, not reward prediction errors. *Journal of Neuroscience*, 33(19), 8264–8269.
- Tobias, M. R., & Ito, T. A. (2021). Anxiety increases sensitivity to errors and negative feedback over time. *Biological Psychology*, 162, 108092.
- Torpey, D. C., Hajcak, G., & Klein, D. N. (2009). An examination of error-related brain activity and its modulation by error value in young children. *Developmental Neuropsychology*, 34(6), 749–761.
- Tracey, I. (2005). Nociceptive processing in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(4), 478–487.
- Ullsperger, M., Danielmeier, C., & Jocham, G. (2014). Neurophysiology of performance monitoring and adaptive behavior. *Physiological Reviews*, 94(1), 35–79.
- Vaisvaser, S., Modai, S., Farberov, L., Lin, T., Sharon, H., Gilam, A., ... Hendler, T. (2016). Neuro-epigenetic indications of acute stress response in humans: The case of microRNA-29c. *PloS One*, 11(1), e0146236.
- van Boxtel, G. J., van der Molen, M. W., & Jennings, J. R. (2005). Differential involvement of the anterior cingulate cortex in performance monitoring during a stop-signal task. *Journal of Psychophysiology*, 19(1), 1–10.
- van Boxtel, G. J. M., van der Molen, M., Jennings, J. R., & Brunia, C. H. M. (2001). A psychophysiological analysis of inhibitory motor control in the stop-signal paradigm. *Biological Psychology*, 58(3), 229–262.
- Velanova, K., Wheeler, M. E., & Luna, B. (2008). Maturation changes in anterior cingulate and frontoparietal recruitment support the development of error processing and inhibitory control. *Cerebral Cortex*, 18(11), 2505–2522.
- Wang, C., Ulbert, I., Schomer, D. L., Marinkovic, K., & Halgren, E. (2005). Responses of human anterior cingulate cortex microdomains to error detection, conflict monitoring, stimulus-response mapping, familiarity, and orienting. *Journal of Neuroscience*, 25(3), 604–613.
- Weinberg, A., Olvet, D. M., & Hajcak, G. (2010). Increased error-related brain activity in generalized anxiety disorder. *Biological Psychology*, 85(3), 472–480.
- Weinberg, A., Riesel, A., & Hajcak, G. (2012). Integrating multiple perspectives on error-related brain activity: The ERN as a neural indicator of trait defensive reactivity. *Motivation and Emotion*, 36(1), 84–100.
- Wessel, J. R., Danielmeier, C., Morton, J. B., & Ullsperger,

- M. (2012). Surprise and error: Common neuronal architecture for the processing of errors and novelty. *Journal of Neuroscience*, 32(22), 7528–7537.
- White, E. J., Grant, D. M., Taylor, D. L., Frosio, K. E., Mills, A. C., & Judah, M. R. (2018). Examination of evaluative threat in worry: Insights from the error-related negativity (ERN). *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 282, 40–46.
- Whitton, A. E., Van't Veer, A., Kakani, P., Dillon, D. G., Ironside, M. L., Haile, A., ... Pizzagalli, D. A. (2017). Acute stress impairs frontocingulate activation during error monitoring in remitted depression. *Psychoneuroendocrinology*, 75, 164–172.
- Willems, A., Jelinčić, V., Vlaeyen, J., von Leupoldt, A., & Torta, D. (2021). Is it a painful error? The effect of unpredictability and intensity of punishment on the error-related negativity, and somatosensory evoked potentials. *Biological Psychology*, 165, 108177.
- Xiao, Y., Ma, F., Lv, Y., Cai, G., Teng, P., Xu, F., & Chen, S. (2015). Sustained attention is associated with error processing impairment: Evidence from mental fatigue study in four-choice reaction time task. *PloS One*, 10(3), e0117837.
- Xue, G., Xue, F., Drouman, V., Lu, Z.-L., Bechara, A., & Read, S. (2013). Common neural mechanisms underlying reversal learning by reward and punishment. *PloS One*, 8(12), e82169.
- Yang, Q., Ybarra, O., van den Bos, K., Zhao, Y., Guan, L., Cao, Y., ... Huang, X. (2019). Neurophysiological and behavioral evidence that self-uncertainty salience increases self-esteem striving. *Biological Psychology*, 143, 62–73.
- Yeung, N., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, 111(4), 931–959.
- Yeung, N., & Cohen, J. D. (2006). The impact of cognitive deficits on conflict monitoring: Predictable dissociations between the error-related negativity and N2. *Psychological Science*, 17(2), 164–171.
- Yi, H., & Yu, R. (2014). The feedback-related negativity reflects "more or less" prediction error in appetitive and aversive conditions. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 108.

Effects of motivation on error processing: Controversy and integration

LI Yaqin, ZHAO Ruolan, YANG Qing

(School of Psychology, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: Error processing is a high-level cognitive process that detects the occurrence of errors and makes subsequent adjustments. Numerous studies have shown that motivation (e.g., reward, punishment, etc.) can affect error processing, but the findings are inconsistent. By comparing previous studies, we propose that factors such as age, gender, experimental design, personality and culture may affect the relationship between motivation and error processing. Integrating them together, we further propose that task relevance could serve as a potential joint mechanism for these effects, that is, in tasks that are highly relevant to individual goals, error processing would be enhanced (e.g., heightened ERN/Pe amplitude) when one's motivation is stronger; but in low relevant tasks, the motivational effects on error processing would be weaker. Within this theoretical framework, the above factors may moderate the relationship between motivation and error processing by affecting task relevance. This new viewpoint can contribute to explaining the complex relationship between motivation and error processing. Future research is needed to empirically examine the effects of the above factors and task relevance, explore the motivational role of different error types and the motivational function of error itself, and further explore how motivational and cognitive factors may interact to affect error processing, which would advance the motivational theory of error processing.

Keywords: error processing, motivation, error-related negativity, error positive, task relevance