

## 错误相关负波 (ERN) 在精神病理学研究中的应用\*

张 华 刘春雷 王一峰 张庆林

(西南大学心理学院, 重庆 400715)

**摘 要** 错误相关负波 (error-related negativity, ERN) 是由行为错误诱发的一种脑电波成分, 最大峰值在错误反应之后的 50ms 左右, 偶极子源定位于前扣带回 (anterior cingulate cortex, ACC) 附近。错误加工 (error processing) 的经典研究范式中出现的 ERN 成分可能反映了 ACC 具有错误检测、冲突监控、强化学习、情绪动机等功能。大量研究表明过度的和不足的错误相关脑活动 (hyperactive and hypoactive error processing) 可能分别与精神病理学的内化性和外化性障碍 (internalizing and externalizing disorders) 相关联。内化性和外化性障碍的内表型 (endophenotype) 的研究, 还存在许多值得进一步探索的问题。

**关键词** 错误加工; ERN; 精神疾病; 精神病理学; 内表型

**分类号** B845

### 1 引言

心理学和精神病理学的研究已经发现了一些可能与精神疾病发生有关的风险因素。例如, 双亲有精神障碍是发生焦虑 (Beidel & Turner, 1997)、抑郁 (Downey & Coyne, 1990) 和物质滥用障碍 (Hartman, Lessem, Hopfer, Crowley, & Stallings, 2006) 的一个显著风险因素。人格因素也是发生精神疾病的一个显著预测源。报告表明, 具有高负性情绪水平和具有神经质人格特质的个体更容易患焦虑和抑郁综合征 (Jylha & Isometsa, 2006)。而新异寻求和感觉寻求的人格特质是发生物质滥用障碍的一个显著预测源 (Sher, Bartholow, & Wood, 2000)。

遗传是精神疾病发生的重要风险因素, 而对疾病的遗传学研究却没有得到一致的结论。内表型 (endophenotype) 正是在这一背景下提出的, 它是通过神经生理的、生物化学的、神经解剖的、认知的及神经心理学的测量检测到的内在的表现型, 它不是外在的、很明显的, 而是微观的、内在的。疾病的内表型处于疾病和遗传基因之间, 与遗传基因的联系更密切, 它比外在的表现

更接近疾病的生物学基础, 更少受到外在因素的影响。因此, 内表型方法在对具有复杂遗传机制的精神疾病研究中有着独特的优势, 在精神病理学领域也受到了越来越多的关注和重视 (陈楚侨, 杨斌让, 王亚, 2008)。

作为认知神经心理学研究的重要工具, 事件相关电位 (ERP) 是一种十分重要的内表型。该文首先对错误加工 (error processing) 及其相关脑电成分 ERN 作了介绍, 然后讨论了错误加工的精神病理学研究, 尤其是 ERN 与心理障碍和相关人格特质之间的关系。最后从内表型建构的角度讨论了这方面研究的发展方向。

### 2 错误加工

#### 2.1 错误加工及其研究范式

错误加工在认知控制和行为监控中起着关键的作用。监控自己的认知和行为结果, 觉察到应该的反应和实际的反应之间的差别 (即错误), 纠正这种错误并防止再犯, 是错误加工的主要内容。一般地, 错误是指“行为过失” (action slip), 即快速的、冲动性的错误, 这种错误是基于对相关刺激的不完全加工而产生的, 一般都能够及时发现并改正。当这种错误发生时, 对刺激的加工仍在继续, 导致一个非常快的改正错误的趋势, 即错误发生时人们一般有反应减慢或更加小心的表现, 这一般被称为“错误后减慢” (刘春雷,

收稿日期: 2009-04-11

\* 西南大学国家重点学科“基础心理学”资助项目 (西国重 NSKD06002)。

通讯作者: 张庆林, E-mail: zhangql@swu.edu.cn

张庆林, 2009)。

研究错误加工主要采用如下几类经典实验范式: Eriksen Flanker 任务、Stroop 任务、Go/No-Go 任务。在 Flanker 任务中, 被试要对中央呈现的靶刺激进行反应, 同时忽略靶刺激两边呈现的分心刺激。当两侧的分心刺激与中间的靶刺激一致时, 不容易出现错误反应; 而当两侧的刺激与中间的靶刺激不一致时, 容易出现错误反应。这是研究错误加工最常用的范式。在经典的 Stroop 范式中, 要求被试命名呈现的颜色词的颜色。词的意义与呈现的颜色不同时(例如, 绿色的 red), 被试的反应会比二者相同时(例如, 红色的 red) 或词为非颜色词时(例如, 红色的 bed) 出现更多的错误反应。在 Go/No-Go 任务中, 被试必须对经常出现的 Go 刺激做出反应, 因此 Go 反应变成惯性反应。然而, 当很少量的 No-Go 刺激出现时, 被试的惯性反应必须受到抑制。因此, No-Go 刺激容易出现反应错误。

## 2.2 错误相关负波及其相关成分

事件相关电位研究发现人们在做出快速的、冲动性错误后的 50~150ms 会出现电位的负偏转, 由于它只是与犯错误行为伴随的特定 ERP 成分, 所以被命名为错误相关负波 (Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993), 偶极子源定位发现这一成分产生于前扣带回附近。ERN 被认为是反映了前扣带回的早期错误加工活动。有趣的是, 有时在正确反应的试次上也会出现一个明显的类似 ERN 的小成分 (Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000; Ford, 1999), 研究者将其称为正确反应负波 (correct response negativity, CRN)。目前对 CRN 的发生机制有多种假设, 它可能反映了相关脑区的反应比较加工 (Falkenstein, et al., 2000)、情绪反应 (Luu, Collins, & Tucker, 2000)、正误反应的相互作用 (Luu, et al., 2000) 以及对正确反应的不确定性 (Coles, Scheffers, & Holroyd, 2001) 等功能性活动。错误又可分为自身反应产生的错误和外在反馈的错误, 对反馈刺激进行事件相关电位分析发现, 在 230~270ms 时间窗口负性反馈比阳性反馈引发了更负的波形, 这被称为反馈相关负波 (feedback-related negativity, FRN)。FRN 具有与 ERN 类似的发生机制, 二者的区别在于错误是内源还是外源的。

## 2.3 关于 ERN 的理论假说

虽然关于 ERN 的研究很多, 但是对于它的功能意义还有很多争论, 对此研究者提出了多种理论假设, 主要有错误检测理论 (error detection theory), 冲突监控理论 (conflict monitor theory), 强化学习理论 (reinforcement learning theory) 以及情绪动机理论 (motivational /affective theory)。

对 ERN 提出的最早的理论解释是错误检测理论 (Coles, et al., 2001; Falkenstein, et al., 2000), 也称为表征失匹配理论 (mismatch theory)。它认为 ACC 通过对应该的、正确的反应和实际的反应表征进行比较, 检测到其中存在不匹配而产生 ERN, 不匹配程度越大, ERN 波幅越大。ERN 是脑电的早期成分, 这表明正确反应的表征来自于“传出命令 (efference copy)”, 而不是来自于本体感受的反馈; 或者 ACC 面对错误时提供一种情感的或动机的信号来支持冲突的解决。

冲突监控理论 (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Yeung, Botvinick, & Cohen, 2004) 认为, ACC 通过检测冲突和错误提供控制信号, 并将控制信号传达给前额叶等具体负责控制的脑区。这一理论对错误加工的解释基于如下的推理: 快速反应任务中的错误是不成熟的、冲动型的反应, 此时刺激的分析并不完全, 甚至当冲动性的错误被执行时, 刺激评估也能继续引发正确反应表征的激活。正确反应表征激活之后与先前的错误反应表征之间的冲突就会达到最大, 然后两种不同的反应表征通路发生串扰, 引起冲突, ERN 就是对这种冲突的反映。

强化学习理论 (Holroyd & Coles, 2002) 认为, 反应 ERN 和反馈 ERN (F-ERN 或 FRN) 都是由中脑多巴胺系统产生的。多巴胺信号对 ACC 活动的调节作用决定了 ERN 的波幅: 当事件比预期更坏时, 多巴胺相位的降低解除了对 ACC 的抑制, 引起更大的 ERN; 当事件好于预期时, 多巴胺相位的增加抑制了 ACC, 引起更小的 ERN; ACC 使用该多巴胺信号用来改进当前行为。

但以上理论模型都存有一大缺陷, 就是不能解释动机和个体差异对 ERN 的影响。错误具有明显的动机作用, 能够引起包括皮肤电传导增加和心率减速等心理生理的变化 (Hajcak, McDonald, & Simons, 2004)。例如, 相对于正确反应, 错误

反应引起的防御性惊跳反射 (defensive startle reflex) 更加强烈 ((Hajcak & Foti, 2008)。根据情绪动机理论, ERN可能反映了错误探测活动, 其结果是动机性行为的实现。因此, ERN波幅大小可能反映了错误本身的意义。Gehring等人 (1993) 的研究首先表明了这种可能: 当要求被试更多地注意正确率时, 犯错误的次数减少, 错误发生时ERN波幅增大; 当要求被试更多地注意反应时时, 犯错误的次数增多, 错误发生时ERN波幅减小。因此, 通过对正确率的强调, 使错误更加明显, 进而使ERN波幅更大。Pailing和Segalowitz (2004) 的一个研究发现, 动机显著性对ERN波幅的影响还受到人格特质的影响。这些研究表明, 错误加工、情绪动机和人格之间存在相互作用, 错误加工可能不仅仅是纯粹的认知活动, 而是有着更加复杂的机制。

### 3 错误加工的精神病理学研究

近来的研究开始探讨个体差异是如何影响错误加工的, 并且逐步确立了病理学状态与异常错误信号之间的联系, 这些研究加深了对各种神经心理病症可能机制的认识。

已有研究表明, ERN波幅与特定的精神障碍相关联, 例如焦虑和抑郁患者的 ERN波幅增加 (Schrijvers, De Bruijn, Maas, Vancoillie, Hulstijn, & Sabbe, 2009); 而 ERN波幅减小与药物滥用和冲动性人格特点相关 (Hall, Bernat, & Patrick, 2007)。这种增加和减小的 ERN波幅模式似乎能与 Krueger (1999) 提出的两高阶因素论的精神病理学模型 (two higher-order factors of psychopathology) 很好地拟合。

Krueger, Caspi, Moffitt 和 Moffitt (1998) 用验证性因素分析的方法, 对 10 种心理障碍进行因素结构分析, 他把一般抑郁症、精神抑郁症、一般焦虑障碍、广场恐怖症、社交恐怖症、简单的恐惧症和强迫症作为内化性因素潜在变量的指标; 把行为障碍、大麻依赖和酒精依赖作为外化性因素潜在变量的指标, 提出了二因素模型, 即内化性行为障碍和外化性行为障碍。

统计检验表明, 二因素模型很稳定, 这是因为内化性和外化性本来就是人们对待世界的基本取向 (Krueger, et al., 1998)。内化性障碍 (internalizing disorders) 是指对外部世界的退缩倾向, 不管是一般抑郁症的负面的、自我参照的

思维模式, 还是远离整个外部世界的退缩行为。相反, 外化性障碍 (externalizing disorders) 是指对外部世界的趋向倾向。每一种外化障碍都体现了个体与社会的冲突, 不管是表现出犯罪行为以及伴随反社会人格障碍的对他人的漠视, 还是表现出药物滥用的犯罪性生活方式 (Krueger, et al., 1998)。

#### 3.1 内化性障碍的过度错误相关脑活动

强迫症 (obsessive-compulsive disorder, OCD) 的一个重要特征就是其过度化的行为监控, 导致了不恰当的、过度的内部错误信号的产生 (Nieuwenhuis, Nielen, Mol, Hajcak, & Veltman, 2005)。Gehring, Himle 和 Nisenson (2000) 研究发现 OCD 患者相比正常人有更大的 ERN 波幅, 即使是在那种不与 OCD 症状相关的任务中也是如此。他们还发现 ERN 波幅与 OCD 症状存在正相关。这些发现也被后来的研究 (Johannes, et al., 2001; Ruchow, Spitzer, Gron, Grothe, & Kiefer, 2005) 所证实, 而且有广泛性焦虑障碍的儿童也有更大的 ERN 波幅 (Hajcak, Franklin, Foa, Simons, 2008; Ladouceur, Dahl, Birmaher, Axelson, & Ryan, 2006)。一些 fMRI 研究也发现 OCD 患者表现出了更多的错误相关脑活动 (Fitzgerald, et al., 2005; Maltby, Tolin, Worhunsky, O'Keefe, & Kiehl, 2005)。Ursu, Stenger, Shear, Jones 和 Carter (2003) 的研究发现, OCD 患者在正确和错误的试次上都有更强的 ACC 活动, 表明 OCD 患者在反应监控过程中 ACC 的过度活动是持续性的。与 Ursu 等人的结果相似, Hajcak 和 Simons (2002) 的研究发现重 OCD 患者有更大的 ERN 和 CRN。Hajcak, Franklin, Foa 和 Simons (2008) 的研究发现即使对很小的 OCD 儿童实施了成功的治疗后其 ERN 波幅也不会变化。Moser, Hajcak 和 Simons (2005) 的研究考察了对蜘蛛有病态性焦虑的被试的 ERN 是否受情境影响而变化, 发现即使在呈现狼蛛这种强烈刺激时 ERN 波幅也不会变化。这些研究都表明 OCD 患者的 ERN 波幅具有跨情境的稳定性。

相关研究暗示, ERN 波幅与内化性障碍的特质因素有关, 而不受情境因素影响。为了检验这种假设, 一些研究考察了与病理性焦虑密切相关的人格特质相对应的 ERN。有两个研究发现负性情绪得分高的被试比负性情绪得分低的被试有

更大的ERN波幅(Hajcak, et al., 2004; Luu, et al., 2000)。一项fMRI也发现有高特质焦虑的被试在错误试次上有更多的ACC活动(Paulus, Feinstein, Simmons, & Stein, 2004)。

抑郁患者表现出了对错误和负性反馈的过度敏感(Elliott, Sahakian, Michael, Paykel, & Dolan, 1998; Steffens, Wagner, Levy, Horn, & Krishnan, 2001)。有抑郁症状的个体表现出在错误试次之后正确率下降,表明他们对出现错误之后的行为监控能力较差(Holmes & Pizzagalli, 2007)。在抑郁的发展中对环境的负性认知偏向也是一个重要因素(Leppanen, 2006)。抑郁个体在工作记忆中能够精确地判断他们错误反应的数目,但是会低估正确反应的数目(Dunn, Dalgleish, Lawrence, & Ogilvie, 2007)。与这种负性加工偏向一致,抑郁患者也表现出了异常的错误相关活动。例如,Chiu和Deldin(2007)的研究发现,在Flanker任务中,抑郁患者组在中性和惩罚条件下相比控制组有更大的ERN波幅,但是在奖赏条件下两组被试ERN波幅没有显著差异。在Stroop任务中,抑郁的被试相比控制组被试有更大的ERN(Holmes & Pizzagalli, 2008)。fMRI研究也发现抑郁患者组相比控制组在错误试次上有更强的喙部ACC活动(Steele, Meyer, & Ebmeier, 2004)。

一些研究表明负性情绪与惩罚敏感性的个体差异联系紧密。有两项研究考察了行为抑制系统(behavioral inhibition system, BIS)和行为激活系统(behavioral activation system, BAS)得分与ERN波幅相关。BIS得分和BAS得分被认为分别表征惩罚敏感性和奖赏寻求(Carver & White, 1994)。考虑到错误是令人嫌恶的,他们的研究都发现BIS得分高的被试有更大的ERN波幅(Amodio, Master, Yee, & Taylor, 2008; Boksem, Tops, Wester, Meijman, & Lorist, 2006)。BIS和BAS特质分别与反向控制和顺向控制偏向相关,还有可能与学习风格相关。例如,在Frank等(2005)的一项研究中,发现人们在强化学习过程中对正负强化刺激信号具有偏好,有的人倾向选择正性的结果,他们在遇到两个能带来正性反馈结果的概率差不多的选择时,会产生大的ERN;有的人尽量避免负性的结果,他们在面临都可能带来负性结果的选择时,会产生更大的

ERN。

相关研究一致地表明,ERN波幅可以作为预测内化性障碍特质性因素的有效指标。

强迫、抑郁等内化性障碍患者一致地表现出ACC活动的异常。强迫症患者ACC自发活动过度,而抑郁症患者可能表现出ACC检测阈限的降低,从而都表现出过度化的错误相关脑活动。因而,外化性的ERN指标就可以作为检查、诊断、预测内化性障碍的有力工具。

### 3.2 外化性障碍的不足错误相关脑活动

一些研究考察了ERN与物质滥用及相关的人格特质之间的关系。Franken, van Strien, Franzek和van deWatering(2007)发现可卡因依赖患者相比控制组表现出了更小的ERN波幅。Ridderinkhof等(2002)通过在健康志愿者身上精确操控酒精量研究了酒精摄入与错误加工之间的关系,结果发现在健康个体身上少量和中量的酒精都会引起ERN波幅的降低。神经成像研究也表明,不管是滥用什么药物都表现出了错误相关脑活动的减少。例如,研究发现滥用大麻(Gruber & Yurgelun-Todd, 2005)、可卡因(Goldstein, et al., 2007; Kaufman, Ross, Stein, & Garavan, 2003)、鸦片(Forman, et al., 2004)以及麻黄碱(London, et al., 2005)的个体,都表现出了错误相关ACC活动的减弱。总之,这些研究表明药物滥用可能削弱了错误加工活动,当然还需要更多的ERP研究来检验其与ERN的关系。

物质滥用者的一个显著的人格特点是冲动性。冲动性人格的个体表现出对奖赏有更强的敏感性而对惩罚不敏感。类似地,那些易患物质滥用障碍者表现出对奖赏比对惩罚有更强的敏感性(Finn, Kessler, & Hussong, 1994),尤其表现出对短期的奖赏的喜好和对长期的负性结果不敏感(Grant, Contoreggi, & London, 2000)。与冲动性个体对奖赏有过高的敏感而对惩罚有过低的敏感这种观点相一致,研究发现那些在冲动性量表上得分高的被试对错误反应有较低的ERN波幅(Potts, George, Martin, & Barratt, 2006; Ruchow, et al., 2005)。其他间接测量冲动性的研究也得出了相似的结论。例如, Krueger及其同事认为外化性障碍个体经常会有冲动控制的问题(Krueger, Markon, Patrick, & Iacono, 2005),他们的研究发现高外化性障碍的个体也会有减

小的 ERN 波幅 (Hall, Bernat, & Patrick, 2007)。最新的研究也表明, 在决策过程中, 高冲动型的个体在面对高风险选择时的 ERN 更小 (Martin & Potts, 2009)。

与内化性障碍相反, 外化性障碍患者如物质滥用者以及冲动性个体一致性地表现出 ERN 波幅的减小。这表明 ERN 可以作为预测相关精神病理症状的指标, 也表明 ACC 的错误相关活动可能是引起这两种不同的精神病理症状的内化风险因素。

### 3.3 小结

ERN 出现在个体发生错误的 50ms 左右, 是错误加工的一个可靠指标; 已有的证据表明 ERN 起源于 ACC, 可能反映了大脑对当下的反应错误和反应冲突评估的相应多巴胺活动 (Holroyd & Coles, 2002; Yeung, et al., 2004)。也有证据表明 ERN 与动机和情绪变量相关, 可能与防御行为和厌恶学习神经系统紧密联系 (Frank, 2005; Hajcak & Foti, 2008)。

有内化性障碍的个体 (例如焦虑和抑郁), 都会对错误有更高的敏感性, 有更大的 ERN。在具有与内化性精神障碍密切相关的人格特质的被试身上也得出了类似的结果: 那些在负性情绪、焦虑、担心、行为抑制方面得分高的人都有增大的 ERN 波幅 (Amodio, et al., 2008; Boksem, et al., 2006; Hajcak, et al., 2008; Hajcak, et al., 2004)。而且, 似乎焦虑状态的相关变化不会对 ERN 产生影响 (Hajcak, et al., 2008; Moser, et al., 2005)。因此, 这些结果支持了 ERN 的异常是一种稳定的内化性障碍的特征指标的观点。

另一方面, 有外化性障碍的个体, 都会有冲动性和反社会规则的特征 (Krueger, Markon, Patrick, Benning, & Kramer, 2007)。那些有物质滥用问题者的显著特点就是行为冲动并且为了获得短期的奖赏结果而不惜以长期的坏的结果为代价 (Grant, et al., 2000)。心理生理学和脑成像研究表明物质滥用者有较低的 ERN 波幅和错误相关脑活动 (Franken, et al., 2007), 这说明物质滥用者对错误不敏感。某些人格特质 (例如冲动性), 也有类似的减小的 ERN (Potts, et al., 2006); 同样地, 有些对惩罚不敏感的个体在惩罚情境下而非奖赏条件下 ERN 也会减小 (Dikman & Allen, 2000)。这些结果支持减小的 ERN 与人格和精神

病理性的外化性障碍有关这种观点。

## 4 未来研究展望

综合以上研究, 我们认为 ERN 可能对于内化性与外化性障碍是一个有用的内表型。ERN 可能反映了遗传倾向性和患病状态之间路径调制异常的信息加工过程 (Gottesman & Gould, 2003)。Gottesman 和 Gould (2003) 强调了几条明显的内表型特征: 首先, 与疾病共同存在。很多研究已发现有焦虑和抑郁症状的患者会有增强的错误相关脑活动。其次, 内表型是状态独立的, 无论疾病是否处于活动状态都能表现出来。例如, Moser 等 (2005) 的研究发现, 焦虑障碍患者在症状发作状态下或成功治疗后 ERN 波幅没有变化。再次, 内表型是可遗传的。Anokhin, Golosheykin 和 Heath (2008) 的研究发现错误相关脑活动是遗传的, 遗传率在 0.5 左右。最后, 我们预测患者的内表型在其家族亲属中的表现率也应高于一般人群, 但这一方面还没有研究, 无疑这将是未来研究的重要课题。

另外, 虽然很多精神障碍可以划归到内化性障碍-外化性障碍两维度, 但是像精神分裂症这种精神障碍就不太适合这个模型, 而且精神障碍是否由完整的单一维度表征还存在争论。有趣的是, 很多文献提出精神分裂症患者表征一种单一的维度, 与内化性障碍和外化性障碍维度分别与增强的和减弱的错误敏感性不同, 精神分裂症的特点是普遍的不能自我监控 (Stirling, Hellewell, & Quraishi, 1998)。因此, 像精神分裂症之类的精神障碍的内表型, 还有待新的探索。

尽管大部分研究都表明精神分裂症患者在错误的反应上有更小的 ERN 波幅, 但是有证据表明精神分裂症患者相比他们的 ERN 波幅有更大的 CRN 波幅 (Alain, et al., 2002; Kim, et al., 2006; Morris, et al., 2006)。前额皮层损伤病人在 ERN 和 CRN 波幅上没有差异, 这与精神分裂症患者的表现相似 (Gehring & Knight, 2000)。精神分裂症和前额皮层损伤病人具有相似性是因为前额皮层功能不足也被认为是精神分裂症的病因 (Galderisi, et al., 2008)。这两组个体的差异在于前额皮层损伤病人有正常的 ERN 波幅, 而精神分裂症患者有较小的 ERN 波幅。在犯错误过程中, 精神分裂症患者在 ACC 特别是在喙部 ACC

有降低的血液动力学反应 (Carter, MacDonald, Ross, & Stenger, 2001; Laurens, Ngan, Bates, Kiehl, & Liddle, 2003)。而且研究表明精神分裂症患者的 ACC 在结构和功能上都存在缺陷 (Zetsche, et al., 2007)。进一步的研究应该探讨精神分裂症患者身上的 ERN 和 CRN 成分变化是否代表精神分裂症患者不能够进行自我监控。过去大量的文献主要探讨了 P300 与精神分裂症的关系, 表明注意缺失可能影响任务表现和相关的神经生理测量 (Ford, 1999)。因此, 我们认为精神分裂症患者的 ERN 变化可能更多地源于精神分裂症患者的认知功能的普遍缺失而不是仅仅特定于反应监控。

已有研究表明, 增强的 ERN 可能与焦虑、抑郁等内化性障碍有关, 而减弱的 ERN 可能与人格和精神病理的外化性障碍相关, 现在仍然需要更多的研究来证实和扩展这些发现。将来的研究可能需要澄清以下几个问题。第一, 需要更多的研究来评估成功治疗后的 ERN 波幅变化以考察状态和特质对 ERN 的影响。一些研究已考察了不同特质焦虑障碍与增强的 ERN 相关, 但还没有不同抑郁状态变化对 ERN 影响的研究。第二, 开展对儿童的纵向研究, 以考察儿童在未发生精神障碍前的 ERN 情况, 这有助于建立一个关于什么时候 ERN 波幅差异表明有患精神障碍风险的时限。三, 考察更广泛的精神障碍类型是否与 ERN 波幅变化相关, 以及存在怎样的相关。

总之, 错误加工具有重要的生存适应性意义。ERN 作为错误加工的有效指标, 可能反映了 ACC 具有一般的适应性调节功能。内化性障碍与外化性障碍的精神病理学分类与 ERN 波幅具有比较稳定的关系, 一方面表明 ERN 是精神障碍的一个有用的内表型, 另一方面也反映了精神障碍可能存在不同的自我监控和调节的异常。加强 ERN 与精神病理学的相关研究, 有助于我们更深入地了解不同精神障碍的起因和机制。

### 参考文献

陈楚侨, 杨斌让, 王亚. (2008). 内表型方法在精神疾病研究中的应用. *心理科学进展*, 16(3), 378-391.

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.

Alain, C., McNeely, H. E., He, Y., Christensen, B. K., & West, R. (2002). Neurophysiological evidence of error-

monitoring deficits in patients with schizophrenia. *Cerebral Cortex*, 12(8), 840-846.

Amodio, D. M., Master, S. L., Yee, C. M., & Taylor, S. E. (2008). Neurocognitive components of the behavioral inhibition and activation systems: Implications for theories of self-regulation. *Psychophysiology*, 45, 11-19.

Anokhin, A. P., Golosheykin, S., & Heath, A. C. (2008). Heritability of frontal brain function related to action monitoring. *Psychophysiology*, 45, 524-534.

Beidel, D. C., & Turner, S. M. (1997). At risk for anxiety: I. Psychopathology in the offspring of anxious parents. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 36(7), 918-924.

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., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624-652.

Carter, C. S., MacDonald, A. W., III, Ross, L. L., & Stenger, V. A. (2001). Anterior cingulate cortex activity and impaired self-monitoring of performance in patients with schizophrenia: An event-related fMRI study. *American Journal of Psychiatry*, 158(9), 1423-1428.

Carver, C. S., & White, T. L. (1994). Behavioral inhibition, behavioral activation, and affective responses to impending reward and punishment: The BIS/BAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(2), 319-333.

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.

Coles, M. G., 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.

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.

Downey, G., & Coyne, J. C. (1990). Children of depressed parents: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 108(1), 50-76.

Dunn, B. D., Dalgleish, T., Lawrence, A. D., & Ogilvie, A. D. (2007). The accuracy of self-monitoring and its relationship to self-focused attention in dysphoria and clinical depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(1), 1-15.

Elliott, R., Sahakian, B. J., Michael, A., Paykel, E. S., &

- Dolan, R. J. (1998). Abnormal neural response to feedback on planning and guessing tasks in patients with unipolar depression. *Psychological Medicine*, 28(3), 559–571.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology*, 51(2–3), 87–107.
- Fitzgerald, K. D., Welsh, R. C., Gehring, W. J., Abelson, J. L., Himle, J. A., Liberzon, I., et al. (2005). Error-related hyperactivity of the anterior cingulate cortex in obsessive-compulsive disorder. *Biological Psychiatry*, 57(3), 287–294.
- Finn, P. R., Kessler, D. N., & Hussong, A. M. (1994). Risk for alcoholism and classical conditioning to signals for punishment: Evidence for a weak behavioral inhibition system? *Journal of Abnormal Psychology*, 103(2), 293–301.
- Ford, J. M. (1999). Schizophrenia: The broken P300 and beyond. *Psychophysiology*, 36(6), 667–682.
- Forman, S. D., Dougherty, G. G., Casey, B. J., Siegle, G. J., Braver, T. S., Barch, D. M., et al. (2004). Opiate addicts lack error-dependent activation of rostral anterior cingulate. *Biological Psychiatry*, 55(5), 531–537.
- Frank, M. J. (2005). Dynamic dopamine modulation in the basal ganglia: A neurocomputational account of cognitive deficits in medicated and nonmedicated Parkinsonism. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 51–72.
- Frank, M. J., Worocho, B. S., & Curran, T. (2005). Error-related negativity predicts reinforcement learning and conflict biases. *Neuron*, 47(4), 495–501.
- Franken, I. H., van Strien, J. W., Franzek, E. J., & van deWetering, B. J. (2007). Error-processing deficits in patients with cocaine dependence. *Biological Psychology*, 75(1), 45–51.
- Galderisi, S., Quarantelli, M., Volpe, U., Mucci, A., Cassano, G. B., et al. (2008). Patterns of structural MRI abnormalities in deficit and nondeficit schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 34, 393–401.
- 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, 385–390.
- Gehring, W. J., Himle, J., & Nisenson, L. G. (2000). Action-monitoring dysfunction in obsessive-compulsive disorder. *Psychological Science*, 11(1), 1–6.
- Gehring, W. J., & Knight, R. T. (2000). Prefrontal-cingulate interactions in action monitoring. *Nature Neuroscience*, 3(5), 516–520.
- Goldstein, R. Z., Tomasi, D., Rajaram, S., Cottone, L. A., Zhang, L., Maloney, T., et al. (2007). Role of the anterior cingulate and medial orbitofrontal cortex in processing drug cues in cocaine addiction. *Neuroscience*, 144(4), 1153–1159.
- Gottesman, I. I., & Gould, T. D. (2003). The endophenotype concept in psychiatry: Etymology and strategic intentions. *American Journal of Psychiatry*, 160, 636–645.
- Grant, S., Contoreggi, C., & London, E. D. (2000). Drug abusers show impaired performance in a laboratory test of decision making. *Neuropsychologia*, 38(8), 1180–1187.
- Gruber, S. A., & Yurgelun-Todd, D. A. (2005). Neuroimaging of marijuana smokers during inhibitory processing: A pilot investigation. *Cognitive Brain Research*, 23(1), 107–118.
- Hartman, C. A., Lessem, J. M., Hopfer, C. J., Crowley, T. J., & Stallings, M. C. (2006). The family transmission of adolescent alcohol abuse and dependence. *Journal of Studies on Alcohol*, 67(5), 657–664.
- Hall, J. R., Bernat, E. M., & Patrick, C. J. (2007). Externalizing psychopathology and the error-related negativity. *Psychological Science*, 18(4), 326–333.
- Hajcak, G., & Foti, D. (2008). Errors are aversive: Defensive motivation and the error-related negativity. *Psychological Science*, 19(2), 103–108.
- Hajcak, G., Franklin, M. E., Foa, E. B., Simons, R. F. (2008). Increased error-related brain activity in pediatric obsessive-compulsive disorder before and after treatment. *American Journal of Psychiatry*, 165, 116–123.
- Hajcak, G., McDonald, N., & Simons, R. F. (2004). Error-related psychophysiology and negative affect. *Brain and Cognition*, 56(2), 189–197.
- Hajcak, G., & Simons, R. F. (2002). Error-related brain activity in obsessive-compulsive undergraduates. *Psychiatry Research*, 110(1), 63–72.
- 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, 679–709.
- Holmes, A. J., & Pizzagalli, D. A. (2007). Task feedback effects on conflict monitoring and executive control: Relationship to subclinical measures of depression. *Emotion*, 7(1), 68–76.
- Holmes, A. J., & Pizzagalli, D. A. (2008). Spatiotemporal dynamics of error processing dysfunctions in major depressive disorder. *Archives of General Psychiatry*, 65(2), 179–188.
- Johannes, S., Wieringa, B. M., Nager, W., Rada, D., Dengler, R., Emrich, H. M., et al. (2001). Discrepant target detection and action monitoring in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research*, 108(2), 101–110.
- Jylha, P., & Isometsa, E. (2006). The relationship of neuroticism and extraversion to symptoms of anxiety and depression in the general population. *Depression and*

- Anxiety*, 23(5), 281–289.
- Kaufman, J. N., Ross, T. J., Stein, E. A., & Garavan, H. (2003). Cingulate hypoactivity in cocaine users during a GO-NOGO task as revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 23(21), 7839–7843.
- Kim, M. S., Kang, S. S., Shin, K. S., Yoo, S. Y., Kim, Y. Y., & Kwon, J. S. (2006). Neuropsychological correlates of error negativity and positivity in schizophrenia patients. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 60(3), 303–311.
- Krueger, R. F., Caspi, A., Moffitt, T., & Moffitt, P. (1998). The Structure and Stability of Common Mental Disorders (DSM-III-R): A Longitudinal-Epidemiological Study. *Journal of Abnormal Psychology*, 107(2), 216–227.
- Krueger, R. F. (1999). The structure of common mental disorders. *Archives of General Psychiatry*, 56(10), 921–926.
- Krueger, R. F., Markon, K. E., Patrick, C. J., Benning, S. D., & Kramer, M. D. (2007). Linking antisocial behavior, substance use, and personality: An integrative quantitative model of the adult externalizing spectrum. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(4), 645–666.
- Krueger, R. F., Markon, K. E., Patrick, C. J., & Iacono, W. G. (2005). Externalizing psychopathology in adulthood: A dimensional-spectrum conceptualization and its implications for DSM-V. *Journal of Abnormal Psychology*, 114(4), 537–550.
- 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.
- Laurens, K. R., Ngan, E. T., Bates, A. T., Kiehl, K. A., & Liddle, P. F. (2003). Rostral anterior cingulate cortex dysfunction during error processing in schizophrenia. *Brain*, 126(Pt 3), 610–622.
- Leppanen, J. M. (2006). Emotional information processing in mood disorders: A review of behavioral and neuroimaging findings. *Current Opinion in Psychiatry*, 19(1), 34–39.
- London, E. D., Berman, S. M., Voytek, B., Simon, S. L., Mandelkern, M. A., Monterosso, J., et al. (2005). Cerebral metabolic dysfunction and impaired vigilance in recently abstinent methamphetamine abusers. *Biological Psychiatry*, 58(10), 770–778.
- Luu, P., Collins, P., & Tucker, D. M. (2000). Mood, personality, and self-monitoring: Negative affect and emotionality in relation to frontal lobe mechanisms of error monitoring. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 43–60.
- Martin, L. E., & Potts, G. F. (2009). Impulsivity in decision-making: An event-related potential investigation. *Personality and Individual Differences*, 46(3), 303–308.
- Maltby, N., Tolin, D. F., Worhunsky, P., O'Keefe, T. M., & Kiehl, K. A. (2005). Dysfunctional action monitoring hyperactivates frontal-striatal circuits in obsessive-compulsive disorder: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 24(2), 495–503.
- Morris, S. E., Yee, C. M., & Nuechterlein, K. H. (2006). Electrophysiological analysis of error monitoring in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 115(2), 239–250.
- Moser, J. S., Hajcak, G., & Simons, R. F. (2005). The effects of fear on performance monitoring and attentional allocation. *Psychophysiology*, 42(3), 261–268.
- Nieuwenhuis, S., Nielen, M. M., Mola, N., Hajcak, G., & Veltman, D. J. (2005). Performance monitoring in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research*, 134, 111–122.
- 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.
- Paulus, M. P., Feinstein, J. S., Simmons, A., & Stein, M. B. (2004). Anterior cingulate activation in high trait anxious subjects is related to altered error processing during decision making. *Biological Psychiatry*, 55(12), 1179–1187.
- Potts, G. F., George, M. R., Martin, L. E., & Barratt, E. S. (2006). Reduced punishment sensitivity in neural systems of behavior monitoring in impulsive individuals. *Neuroscience Letters*, 397(1–2), 130–134.
- Ridderinkhof, K. R., de Vlugt, Y., Bramlage, A., Spaan, M., Elton, M., Snel, J., et al. (2002). Alcohol consumption impairs detection of performance errors in mediofrontal cortex. *Science*, 298(5601), 2209–2211.
- Ruchow, M., Gron, G., Reuter, K., Spitzer, M., Hermle, L., & Kiefer, M. (2005). Error-related brain activity in patients with obsessive-compulsive disorder and in healthy controls. *Journal of Psychophysiology*, 19(4), 298–304.
- Ruchow, M., Spitzer, M., Gron, G., Grothe, J., & Kiefer, M. (2005). Error processing and impulsiveness in normals: Evidence from event-related potentials. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 317–325.
- Schrijvers, D., De Bruijn, E. R. A., Maas, Y. J., Vancoillie, P., Hulstijn, W., & Sabbe, B. G. C. (2009). Action monitoring and depressive symptom reduction in major depressive disorder. *Int J Psychophysiol*, 71(3), 218–224.
- Sher, K. J., Bartholow, B. D., & Wood, M. D. (2000). Personality and substance use disorders: A prospective



- study. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68(5), 818–829.
- Steele, J. D., Meyer, M., & Ebmeier, K. P. (2004). Neural predictive error signal correlates with depressive illness severity in a game paradigm. *NeuroImage*, 23(1), 269–280.
- Steffens, D. C., Wagner, H. R., Levy, R. M., Horn, K. A., & Krishnan, K. R. (2001). Performance feedback deficit in geriatric depression. *Biological Psychiatry*, 50(5), 358–363.
- Stirling, J. D., Hellewell, J. S., & Quraishi, N. (1998). Self-monitoring dysfunction and the schizophrenic symptoms of alien control. *Psychological Medicine*, 28(3), 675–683.
- Ursu, S., Stenger, V. A., Shear, M. K., Jones, M. R., & Carter, C. S. (2003). Overactive action monitoring in obsessive-compulsive disorder: Evidence from functional magnetic resonance imaging. *Psychological Science*, 14(4), 347–353.
- Yeung, N., Cohen, J. D., & Botvinick, M.M. (2004). The neural basis of error detection: Conflict monitoring and the error-related negativity. *Psychological Review*, 111(4), 931–959.
- Zetzsche, T., Preuss, U., Frodl, T., Watz, D., Schmitt, G., Koutsouleris, N., et al. (2007). In-vivo topography of structural alterations of the anterior cingulate in patients with schizophrenia: New findings and comparison with the literature. *Schizophrenia Research*, 96(1–3), 34–45.

## Application of Error-Related Negativity (ERN) in Psychopathological Research

ZHANG Hua; LIU Chun-Lei; WANG Yi-Feng; ZHANG Qing-Lin

(School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** The ERN is a negative deflection in the event-related potentials that peak approximately 50 ms after the commission of an error; it's located around anterior cingulate cortex (ACC). The ERN in classical paradigms of error processing research may reflect error detecting, conflict monitoring, reinforcement learning, or motivational/affective functions of ACC. A Lot of researches suggests that increased and decreased error-related brain activities are associated with the internalizing and externalizing dimensions of psychopathology, respectively. There are many issues worthy of further exploration in terms of the endophenotype construct of internalizing and externalizing disorders.

**Key words:** error processing; error-related brain activity (ERN); psychiatric disease; psychopathology; endophenotype