

结果评价受预期强度影响的事件相关电位研究

黄森 王乃弋 罗跃嘉

【摘要】 目的 探讨结果评价是否受预期的强度水平影响。方法 研究对象为 16 名在校大学生,使用 NeuroScan ERP 工作站采集、比较归因任务中,行为结果在四种预期强度水平下诱发的反馈相关负波(FRN),并对其进行偶极子溯源分析。结果 ①FRN 由失钱的反馈诱发,得钱反馈后无明显 FRN。②归责失钱诱发的 FRN 波幅($-6.24 \mu\text{V}$)大于归功失钱诱发的 FRN 波幅($-4.67 \mu\text{V}$),差异具有显著性($F_{(1,15)}=26.42, P<0.001$);归因对象在 FRN 波幅上主效应不显著。③ FRN 波幅在 Fz 区域最大[从 Fz 到 Pz 依次为:($-7.55 \mu\text{V}$, $-6.54 \mu\text{V}$, $-5.20 \mu\text{V}$, $-4.16 \mu\text{V}$, $-3.83 \mu\text{V}$),差异具有显著性($F_{(2,8)}=8.12, P<0.01$)。④偶极子溯源分析结果显示 FRN 的发生源可能位于扣带回附近(Talairach 坐标: $-16.3, -73.1, 13.3$;残差为 1.98%)。结论 FRN 对负性行为结果敏感,且其波幅受预期强度水平影响,它可能反映了认知系统对不符合预期、且比预期糟的行为结果的评价加工。

【关键词】 结果评价; 预期强度水平; 事件相关电位

Event-related potentials study on outcome evaluation affected by different intensity of expectation HUANG Miao, WANG Nai-yi, LUO Yue-jia. Key Lab of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

【Abstract】 Objective To reveal the nature of the outcome evaluation reflected by event-related potentials in evaluation process. **Methods** 16 College students were required to make attribution about their performance during a task, event-related potentials were recorded by NeuroScan ERP and dipole source location analyzed by Curry4.6. **Results** ①The feedback-related potential (FRN) was elicited by the negative outcomes. ②The amplitude of the FRN was larger on the condition of fail to attribute the responsibility ($-6.24 \mu\text{V}$) than the contribution ($-4.67 \mu\text{V}$), there was significantly statistical meaning ($F_{(1,15)}=26.42, P<0.001$). ③The overall FRN magnitudes were more negative-going at Fz ($-7.55 \mu\text{V}$) than Fcz ($-6.54 \mu\text{V}$), Cz ($-5.20 \mu\text{V}$), CPz ($-4.16 \mu\text{V}$) and Pz ($-3.83 \mu\text{V}$), there was significantly statistical meaning ($F_{(2,8)}=8.12, P<0.01$). ④Dipole source location analysis showed that the neural generator of FRN may be the anterior cingulate cortex (ACC) (Talairach coordinates: $-16.3, -73.1, 13.3$; residual variance: 1.98%). **Conclusion** The feedback-related potential (FRN) is sensitive to the negative outcome, and affected by the intensity levels of the expectation for the outcome. FRN may reflect a evaluation process that the actual outcome is unexpected and worse than the expectation.

【Key words】 Outcome evaluation; Intensity levels of the expectation; Event-related potential

结果评价是指认知系统对自身行为所导致的结果或者外界反馈进行快速评价的过程^[1],其脑机制研究由于有助于理解并预测人类的决策行为,因此已成为认识神经科学领域的热点问题。已有研究表明,FRN 反映了认知系统基于“是否符合预期”的标准来评价实际发生的行为结果^[2-3],但结果评价是否受预期的强度水平影响还不清楚。本实验采用归因范式,通过引起被试对某一特定行为结果产生不同强度的预期,探讨 FRN 所反映的结果评价的脑机制。

对象与方法

一、对象

16 名北京林业大学本科学生,男生 7 名,女生 9 名,

平均年龄(21.06 ± 0.94)岁。所有被试均首次参加心理学实验、身心健康、无精神神经病史、右利手、视力或矫正视力正常。

二、方法

1. 刺激材料:为图片,图片正中是从 0 到 9 随机选择的 2 个数字,这 2 个数字可能相同或不同,其中一个为阿拉伯数字(Arial 字体,字号 36),另一个数字在字形($4 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$)中用灰色(灰度 40%)标识出,字形背景部分灰度 25%。

2. 实验范式:归因范式,由两项任务组成。

任务①由被试和隔壁房间的另一位同学,通过互联网共同判断刺激材料图片上的 2 个数字是否相同,并按键反应。随后计算机根据两人的行为数据自动计分,并根据 2 人累计得分给出任务成败的提示。任务②由被试根据提示对任务①的成败归因。提示信息“+/-”表示任务的成败主要因为其中一人,要求被试归因;“+1/-1”表示双方的功劳/责任相当,不需要进行归因,直接进入下一个试次(trial)。

3. 实验流程:首先通过指导语和练习让被试掌握

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30670698);教育部重点资助项目(106025)

作者单位:100101 北京,中国科学院心理健康重点实验室(黄森);北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室(王乃弋、罗跃嘉)

通信作者:罗跃嘉,Email:luoyj@bnu.edu.cn

计算机评分标准和归因规则。

每个 trial 均以注视点开始;随后呈现图片 260 ms, 被试和对家需在图片呈现后 1200 ms 之内准确且迅速地辨别图片上两个数字是否相同并按键反应,若认为相同按 F 键,不同按 J 键;然后呈现任务成败的提示 500ms;被试据此进行归功或归责判断,若认为主要功劳/责任归结于自己按 F 键,归结于对方按 J 键(左右按键在被试间进行平衡);按键后进入 400 ~ 600 ms 的空屏;最后呈现反馈刺激 500 ms,“+2”表示归因正确,被试最终的酬劳在底薪(人民币 20 元)基础上增加 0.2 元,“-2”表示归因错误,被试的酬劳将在底薪里将扣去 0.2 元。实验共 480 个 trials,其中需要被试归功和归责的 trials 各 200 个;不需要被试归因的 trials 80 个,作为填充条件、不予分析。与被试在指导语中得知的信息不同的是,实际情况下,数字辨析任务成败提示和归因判断后金钱得失的反馈均由计算机随机给出,与被试行为反应无关。

4. 仪器设备及数据记录:脑电检测在光线较暗的隔音室中进行,被试坐于一张舒适的椅子上,两眼注视屏幕中心,眼睛距屏幕 1 m,刺激图片的呈现视角为 $5.7^{\circ} \times 4.0^{\circ}$,刺激呈现以及行为数据记录均采用美国的 E-prime 刺激系统控制。

脑电记录采用 64 导电极帽与 NeuroScan ERP 工作站;参考电极 T8 放置于左侧乳,同时记录右侧乳突的电活动以在离线分析阶段进行再参考;水平眼电(HEOG)与垂直眼电(VEOG)均为双极记录,HEOG 电极分别置于左右眼外眦,VEOG 电极置于左眼眶上与下各 1.5 cm 的正中位置;头皮与电极之间阻抗小于 5 k Ω ,滤波带通 0.05 ~ 100 Hz,采样频率为每导联 500 Hz。脑电进行离线分析,以金钱得失反馈的呈现为叠加零点,分析时程为反馈出现前 200 ms 至反馈出现后 700 ms,以反馈出现前 200 ms 作为基线,分别叠加并平均四种条件下得钱和失钱的反馈刺激所诱发的 EEG,得到反馈刺激锁时的 ERP 总平均波形;根据垂直眼电矫正眨眼伪迹,并进行 30Hz(24 dB/oct)低通滤波,自动排除波幅大于 $\pm 100 \mu\text{V}$ 的伪迹信号。

5. 数据测量和统计分析:行为数据:对归因内容(功/责) \times 归因对象(自己/他人)共 2 个因素 4 个水平下的反应时(RT)进行重复测量方差分析。

ERP 数据:由于 FRN 主要分布于中央-前部,左右差异不显著^[4],因此本实验选取 Fz、FCz、Cz、CPz、Pz 五个电极位置记录的 ERP 用于统计分析;参照已有研究报告^[5],取 230 ~ 350 ms 时间窗口内 N2 的波峰与其前支波峰的差值作为 FRN 波幅,从反馈刺激呈现开始至 FRN 波峰出现的时间为 FRN 潜伏期;用 SPSS 13.0 统计软件包,分别以 FRN 波幅和峰潜伏期为因变量进行 2(归因内容:归功/归责) \times 2(归因对象:自己/他人) \times 5(前后位置:Fz、FCz、Cz、CPz、Pz 电极点)的三因素重复测量方差分析,并用 Greenhouse- Geisser 法对 F

值的自由度进行校正。

偶极子溯源分析:运用 Curry V4.6 软件(美国 Neurosoft 公司生产),采用偶极子拟合的方法在三壳球模型中,运用旋转偶极子模型对由失钱诱发的 FRN 进行偶极子源定位分析。由于偶极子定位对于噪音非常敏感^[6],因此为了得到最大的信噪比,采用总平均 ERP 波^[7]。在结果中描述偶极子位置的三维坐标以 Talarich 坐标系为参考。

结 果

一、行为结果

在被试进行归因判断的反应时(RT)上,归因内容的主效应显著($P=0.003$),归功 RT[(812 \pm 41) ms] 显著短于归责 RT[(860 \pm 38) ms];归因对象的主效应显著($P<0.001$),归因于自己[(757 \pm 33) ms] 显著短于归因于他人[(944 \pm 47) ms];归因内容和归因对象的交互作用显著($P=0.007$),四种条件下 RT 从短到长依次为:归功自己[(714 \pm 34) ms]、归责自己[(799 \pm 35) ms]、归功他人[(909 \pm 50) ms]、归责他人[(920 \pm 44) ms]。

二、ERP 结果

在失钱的反馈刺激条件下能观测到明显的 FRN,其峰潜伏期约为 280 ms,而得钱反馈刺激诱发的 ERP 波中无明显 FRN,尤其在 FRN 波幅本应达到最大的额部电极位置^[8],因此本研究只对失钱反馈诱发的 FRN 进行分析。见图 1。

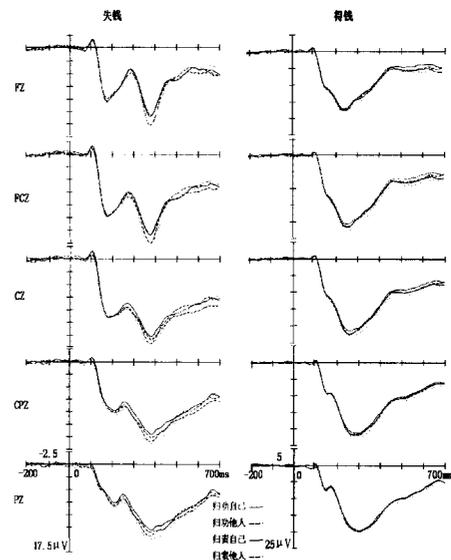


图 1 四种条件下失钱反馈信息诱发的 ERP 总平均图

在 FRN 的波幅上,归因内容的主效应显著($F_{(1,15)} = 26.42, P < 0.001$),归责失钱诱发的 FRN 波幅 [(-6.24 \pm 0.85) μV] 显著大于归功失钱诱发的 FRN 波幅 [(-4.67 \pm 0.75) μV];归因对象的主效应以及归因内容和归因对象的交互作用不显著;从头皮分布上看,FRN 波幅在 Fz 最大[从 Fz 到 Pz 依次为:

(-7.55 ± 1.06) μV ; (-6.54 ± 1.04) V ; (-5.20 ± 0.89) μV ; (-4.16 ± 0.74) μV ; (-3.83 ± 0.71) μV], 差异有显著性($F_{(2,8)}=8.12, P<0.01$)。FRN 潜伏期在各种条件下均没有显著差异。

三、偶极子溯源分析结果

采用偶极子拟合的方法在三壳球模型中重建 FRN 峰出现前后 25ms, 即反馈信息呈现后 250 ~ 300 ms 时间窗口内的源。在采用一个偶极子定位的结果残差非常大的情况下, 用两个偶极子进行溯源分析, 根据主成分分析显示, 最大的主成份可以解释绝大多数的变异。四种水平下均得到相似的结果, 以归功他人失钱诱发的 FRN 的偶极子溯源分析图为例(如图 2), 两个偶极子分别定位在扣带回附近(Talairach 坐标: 19.2, -21.5, 40.3)和 Brodmann 17 区(Talairach 坐标: -16.3, -73.1, 13.3), 残差为 1.98%。



图 2 归功他人失钱诱发的 FRN 偶极子源定位图(250 ~ 300 ms)

讨 论

ERP 研究表明, 在如赌博、欺骗等复杂认知活动的结果评价阶段, 表示行为结果的反馈刺激出现后 200 ~ 400 ms 时间窗口内能观测到反馈相关负波(FRN); 也被称为反馈错误相关负波(fERN); 或内侧额叶负波(MFN), 它对标志着金钱损失等负性反馈刺激更加敏感^[3,5,8-9]。ERN 强化学习理论认为 FRN 反映的是“实际结果不符合预期^[9], 且比预期糟”的评价功能^[2-3], 并提出 FRN 可能受预期强度水平影响、对结果评价的敏感性成等级化的假设^[3]; 动机/情绪评价理论认为 FRN 反映的是对当前事件动机效果的评价^[8]。目前的研究大多关注于预期如何影响结果评价, 但未证实 RL-ERN 理论。通过归因范式让被试对行为结果产生不同强度的预期: 首先, 实验对被试归因所用时间不做限制, 以确保被试做出自认为正确的归因, 因此被试倾向于预期自己能够得钱; 其次, 人倾向“预期出现好结果”^[11], 所以被试会在数字辨析任务成功的条件下对得钱产生最强烈的预期。相比而言, 被试对于在归责条件下得钱的预期强度水平较低, 而在归功条件下失钱是被试不希望出现的结果, 在归责条件下失钱则是被试最不希望出现的结果, 本实验行为结果支持该结论。与行为结果一致的是, ERP 结果显示归责失钱诱发的 FRN 显著大于归功失钱诱发的 FRN 波幅, 该结果支持 RL-ERN 理论, 表明 FRN 反映的是认知系统判定实际结果“不符合预期, 且比预期糟”的评价加

工, 并且越是不希望得到的结果, 诱发的 FRN 波幅越大。值得注意的是, 本研究中 FRN 由失钱反馈刺激诱发, 得钱反馈刺激后 FRN 波幅并不明显, 该结果和前人研究结果不同, 这可能是由于以往研究中被试行为往往导致几种不同的结果, 而在本实验中被试的预期目标非常明确, 因此符合被试预期的得钱反馈并没有诱发 FRN, 该结果从侧面验证了 FRN 反映的是结果比预期糟的评价功能; 行为结果显示, 将任务成败的原因归结于自己和归结于他人在反应时上差异显著, 但是 ERP 结果表明 FRN 对于归因对象并不敏感, 同时, 源分析发现两个偶极子分别位于扣带回附近和 Brodmann 17 区, 参照已有的脑成像研究结果, 可以认为 ACC 可能是 FRN 的发生源^[4,8,10,12], 有研究者将预期如何影响结果评价解释为: 当接收到外界刺激时, 评价系统在基底核完成对正在进行的事件的评价并预测该事件的结果, 当这种预测与实际结果之间不一致时产生预测误差, 该误差信号通过中脑多巴胺系统传至 ACC, 从而产生 FRN^[13], 其波幅受预期强度水平影响。至于本研究的结果中发现有一个偶极子位于初级视觉皮层, 目前尚无相关报告。

参 考 文 献

- 1 Binner PR. Output value analysis: An overview//Willer B, Miller G, Cantrell L. Information and feedback or evaluation. Toronto: York University, 1975: 21-27.
- 2 Holroyd CB, Nieuwenhuis S, Yeung Nick, et al. Errors in reward prediction are reflected in the event-related brain potential. *Neuroreport*, 2003, 14: 2481-2484.
- 3 Holroyd CB, Larsen JT, Cohen JD. Context dependence of the event-related brain potential associated with reward and punishment. *Psychophysiology*, 2004, 41: 245-253.
- 4 Luu P, Tucker DM, Derryberry D, et al. Electrophysiological responses to errors and feedback in the process of action regulation. *Psychological Science*, 2003, 14: 47-53.
- 5 Yeung N, Sanfey A. Independent coding of magnitude and valence in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 2004, 24: 6258-6264.
- 6 Wang Y, Yang F. Dynamic extraction of visual evoked potentials through spatial analysis and dipole localization. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, 1995, 42: 762-768.
- 7 Supek S, Aine CJ. Simulation studies of multiple dipole neuromagnetic source localization: model order and limits of source resolution. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, 1993, 40: 529-540.
- 8 Gehring WJ, Willoughby AR. The medial frontal cortex and the rapid processing of monetary gains and losses. *Science*, 2002, 295: 2279-2282.
- 9 Holroyd CB, Coles MG. The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 2002, 109: 679-709.
- 10 Miltner WHR, Braun CH, Coles MGH. 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*, 1997, 9: 788-798.
- 11 Krizan Z, Windschitl PD. The influence of outcome desirability on optimism. *Psychological Bulletin*, 2007, 133: 95-121.
- 12 牟毅, 朱莉琪. 公平和合作行为的认知神经机制. *中国行为医学科学*, 2007, 16: 1140-1141.
- 13 Holroyd CB, Hajcak G, Larsen JT. The good, the bad and the neutral: Electrophysiological responses to feedback stimuli. *Brain Research*, 2006, 1105: 93-101.

(收稿日期: 2008-07-20)

(本文编辑: 冯学泉)