

责任对后悔强度的影响: 来自 ERP 的证据^{*}

张慧君¹ 周立明¹ 罗跃嘉^{1, 2}

(¹北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875)

(²中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101)

摘要 采用事件相关电位技术, 研究责任对后悔的影响。实验采用赌博范式, 主要因素是被试对于负性结果所负责任的大小, 分为三个水平: 1(只有被试一人犯错)、1/2(被试和另外一个人犯错)以及 1/3(三人同时犯错)。研究结果发现, 被试主观评定的情绪强度和责任感上, 1条件下的显著大于 1/2和 1/3条件下的, 而 1/2和 1/3条件无显著差异; 被试的反事实思维则在三个水平上差异显著, 责任越大, 反事实思维越强。ERN (feedback error-related negativity 反馈错误相关负波, 也称 FRN 反馈负波)的波幅在 1条件下的显著大于 1/2和 1/3条件下的, 而 1/2和 1/3条件下的无显著差异; 而 P300的波幅则在三种水平上差异显著, 责任越大, 波幅越小。结果支持责任对后悔强度有所影响, 且后悔强度在一定程度上随责任大小呈线性变化。

关键词 后悔; 责任; 结果评价; 事件相关电位

分类号 B842. 5

1 引言

我们在决策时常常要面临多种选择, 并对不同选择所造成的结果进行比较, 当自己所选的结果比未选的结果要差的时候, 就会感到后悔。Bell和 Loomes(1982, 1982)将后悔定义为当我们认识到或是想象如果自己做出了不同的决定, 自己目前的状况应该会更好的情绪。除了后悔体验本身, 它还会对其后的决策造成影响 (Marchiori & Warglien, 2008; B. Mellers, Schwartz & Ritoy, 1999; B. A. Mellers, Schwartz, Ho & Ritoy, 1997)。研究后悔有助于我们认识情绪与决策之间的相互作用。近年来后悔的神经机制已经成为社会认知神经科学研究的一个热点 (Camille et al., 2004; Chandrasekhar, Capra, Moore, Noussair & Bems, 2008; Coricelli et al., 2005; Coricelli, Dolan, & Sirigu, 2007; Fujiwara, Tobler, Taira, Iijima & Tsutsui, 2008)。

1.1 责任与后悔的关系

后悔是一种体现着责任感的情绪 (B. Mellers et al., 1999), 传统的行为研究发现责任和个体情绪反应有密切关系 (Whyte, 1991; M. Zeelenberg

van der Pligt & de Vries, 2000; M. Zeelenberg van Dijk, & Manstead, 1998); 但这些研究只能从现象上研究后悔或其他负性情绪 (如失望) 是否产生以及在不同条件下的强度大小, 但无法从实证的角度探究其具体的心理过程。而脑成像研究则证实了眶额皮层 (the Orbitofrontal Cortex, OFC) 在后悔体验过程中起着重要作用 (Camille et al., 2004; Chandrasekhar et al., 2008; Coricelli et al., 2005)。Coricelli等 (2007) 总结认为, 后悔体验以及 OFC 的激活强度与两个方面有关: 首先是关于未选结果的信息, 包括被试是否能看到未选项的结果, 两种结果之间的差异大小等; 另一方面则是被试在决策过程中的负责程度。近年的研究也发现, 人们对不同原因 (自己和外界因素) 所造成的错误会有不同的心理加工, 并表现在主观的情绪评价、激活的脑区以及脑电波形上 (Ehliß, Hermann, Bernhard & Fallgatter, 2005; Ullsperger, Nittono & von Cramon, 2007)。

这些研究揭示了后悔与责任之间的关系, 但却只关注了被试单独完成任务时的情况, 并没有将不同程度的责任水平作为自变量加以控制, 也就是说,

收稿日期: 2008-09-01

* 教育部创新团队项目 (PCSRT, RT0710), 国家自然科学基金资助项目 (30670698), 美国 NIHGRIP (IR01TW007897)。

通讯作者: 罗跃嘉, E-mail: luoyj@bnu.edu.cn, 电话: 010258802365

责任对后悔的影响往往只被认为是一个/全或无的过程,而没有深入考察两者之间的相关或其他线性关系。大脑是如何对责任水平进行加工的,个体的后悔强度会否随着责任程度的加大而增强,值得进一步研究。

根据/责任扩散理论0(Latane & Darley, 1968),在团体或人群中,个体所需要承担的责任随涉入人数的增加而减弱,较低的责任感导致了个体更倾向于不伸出援手、有更多的反社会行为以及较低的情绪体验(Mathes & Kahn, 1973; Whyte, 1991)。因此,个体的责任感可以通过需要承担责任的人数进行控制:犯错的人越多,每个个体的责任感就会减轻。本研究使用了三人赌博的实验范式,通过反馈信息控制负责人数,使被试对于结果产生不同的责任感,研究责任对后悔强度的影响。

1.2 结果评价中的主要脑电成分

责任对后悔的影响是一个快速的自动加工,还是需要更多深层次的认知加工参与?目前较为成熟的ERP技术可以帮助我们了解这个问题。结果评价的ERP研究主要关注两个成分:反馈错误相关负波(feedback error-related negativity, ERN)和P300。一般认为,ERN反映了神经系统对结果好坏的早期评估,既对错误反应进行监测,也帮助个体对其后的行为进行调节(Hajcak, Moser, Holroyd & Simons, 2006; Holroyd, Hajcak & Larsen, 2006; Sander, Nieuwenhuis, Holroyd, Mol & Coles, 2004),但分歧主要有两个方面:坏的(而非单纯的输赢)结果是否会导致更大的ERN?有研究发现ERN并不会在选择结果更好和结果更差之间出现差异(Yeung & Sanfey, 2004);而Masaki等人(2006)则发现ERN能在一定程度上反映决策的正负性质。另一方面,区分好坏的标准是什么?有研究者认为,符合预期的结果即/好0,不符合预期的结果即/坏0(Krizan & Windschitl, 2007);但也有研究认为,无论输赢,符合被试的利益或者希望的就是/好0,反之则为/坏0(Itagaki & Katayama, 2008)。而其它的因素,例如责任是否也对这个评估过程有影响,需要个体负责较多和较少的结果会否被分别视为/坏0和/好0呢?

P300是一个经典的脑电成分,在情绪、注意等方面的研究中受到较多关注,而近年的研究则提出,P300的波幅可能与个体在结果评价过程中的注意以及情绪体验有关(Maj, 2004; Yeung & Sanfey, 2004)。它是否也会受到责任大小的影响?如果

ERN反映的是一个快速的两分评价,那么P300能否更充分地反映责任水平大小的信息,并随后悔程度的变化而变化?

我们假设,被试的后悔程度会随着个体所承受的责任感增加而增加(犯错人数减少),并在结果评价中的相应ERP成分的波幅上体现出来:ERN可能体现了对结果中所包含责任的快速评估,因此负责最多和负责最少的情况下的ERN波幅有显著差异;而P300则会进一步反映不同的责任水平上,注意资源的分配以及情绪体验的差异。

2 方法

2.1 被试

被试为本科生15名,男生8人,女生7人,年龄在19~25岁,平均年龄21.6岁,均为右利手,双眼视力或矫正视力正常,均未参加过类似实验。实验前通过健康问卷调查,无生理或心理方面的疾病,适合参加脑电实验。实验后给予适当报酬。

2.2 实验设计与程序

被试会被告知实验的具体任务是与2位同伴合作完成一个猜奖金的游戏,三人同时选择:如果三人同时猜对,则可以获得5元奖金;如果其中一个人错或两人错或三人都错则扣除5元奖金。结果的对错将由一个正三角形的三条边的颜色表示,并且通过练习,确保被试明确知道三条边分别代表哪一个人(正三角形的底边代表被试自己;两条斜边各代表两位同伴)以及图形颜色的含义(一半被试里面,红色代表选对,绿色代表选错;另一半被试绿色代表选对,红色代表选错。)通过犯错人数的多少控制实验的主要因素))。被试所负责任的大小:1(被试一人犯错,表示为只有底边为红/绿色,两斜边为绿/红色)、1/2(被试与另一对家犯错,表示为底边和一斜边为红/绿色,另一斜边为绿/红色)、1/3(三人都错,表示为三条边均为红/绿色)。被试自己选对的三种情况作为填充数据,不进入统计分析。而两种责任性为1/2的条件会被合并为一种(从两种条件中各随机抽取50%的trials)。实验中共有8种不同的反馈结果(见图1),每种条件下各80个trials共640个trials分为16个block,每个block结束以后,屏幕上都会显示三个人的选错次数以及三个共得奖金。

实验程序用E-prime编制,通过电脑呈现。三个被试分别坐在不同的房间中,一起开始游戏。屏幕背景为黑色,文字都为白色。注视点消失后,被试

会看到两张一模一样的牌 (实际上一张为赢钱, 一张为输钱), 这时他需要选择到底哪边是赢钱, 并在 2.5s 内按键反应 (按 / F0 键选择左边的牌, 按 / J0 键选择右边的)。为了排除被试随意按键或没有集中注意下的反应, 删除反应时短于 200ms 或反应时长于 2500ms 的反应。被试所选的牌将会由白色外框标注; 牌消失后, 被试会看到一个正三角形 (边长 5cm, 水平视角: 3.82b, 垂直视角: 2.83b) 出现在屏幕的中央 1500ms, 从中得知自身及另两位同伴的结果对错; 最后, 被试会看到白色的 / + 50 或 / - 50 呈现在屏幕中央 1000ms, 以告知被试本次赌博的结果是赢还是输。两个 trial 之间的间隔时间为 2000ms (见图 1)。

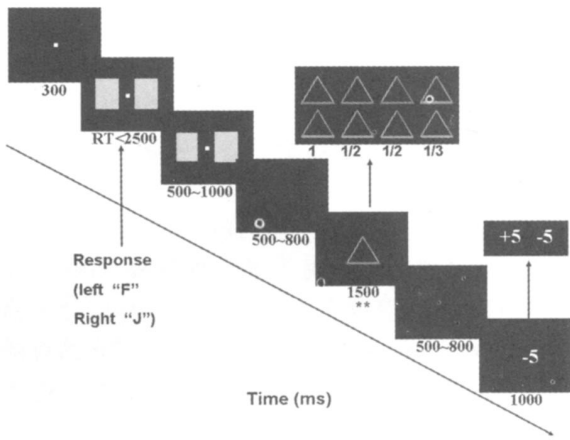


图 1 实验流程: 三角形出现的窗口为脑电分析的时间窗口 (用**标注), 有 8 种可能的结果

与被试在指导语中得知的信息不同的是, 他们实际上是单独参加。为了让被试真正相信自己是在与另外两个人共同完成任务, 实验开始前被试会与两位假被试有个正式的会面, 中途休息时会进行相互的评分和鼓励 (由主试传递事先准备好的纸条)。为增加被试的投入程度, 被试的奖金分成了三部分: 基本奖金、在各组中所赢取的奖金之和 (范围在 25 至 40 之间), 以及被试错误次数超过一定范围后所扣除的金额 (在每组 40 个 trials 中, 如果被试错误次数超过 25 次, 将扣除一定数量奖金)。在练习部分, 奖金出现的位置 (左 / 右) 有一定的规律, 使被试相信能通过自己的努力猜对结果, 更易诱发相应情绪。而不同规律由主试事先安排, 确保不同被试有不同规律。在正式实验中, 仍告知被试奖金出现有一定规律, 但每个 block 的规律不同, 由电脑随机匹配, 但实际上对错结果依据伪随机的原则进行排列,

与被试实际的选择无关, 以确保同一种条件的 trials 不会连续出现三次; 而为了避免前一个 trial 的结果对后面 trial 的影响, 所有 trials 的前一次结果也进行了相应的匹配。

被试在脑电记录完成后, 需要使用九点量表评定自己对于不同结果的反应和感受, 评定的内容包括 3 部分: 负责程度、情绪强度、反事实思维 (见附录)。

2.3 EEG 记录和分析

使用美国 Neuroscan 公司生产的 ERP 记录与分析系统, 按国际 10-20 系统扩展的 64 导电极帽记录 EEG, 接地点位于在 FCz 和 Fz 连线的中点上, 双眼外侧安置电极记录水平眼电 (HEOG), 左眼上下安置电极记录垂直眼电 (VEOG)。以右耳乳突为参考电极点, 闲置原有的另一只参考电极, 取 T7 电极连于左乳突, 形成单极导联。在离线数据处理时以左右两耳乳突的平均电位为参考。每个电极处的头皮电阻保持在 5K Ω 以下。连续记录时滤波带通为 0.05~100Hz, 采样频率为 500Hz/导。对 EEG 数据进行离线处理时, 根据被试眼动的大小, 校正 VEOG 和 HEOG, 并充分排除其他伪迹, 离线滤波的低通为 30Hz (24 dB/oct)。而波幅大于 80 μ V 者被视为伪迹自动剔除。根据文献普遍采用的标准以及本实验中被试反应的情况, 选择反馈刺激出现后 1000ms 为分析时程 (epoch), 刺激出现前 200ms 作为基线。

本研究主要分析的成分为 ERN 和 P300。参照所有被试多次叠加后的波形图发现, ERN 主要出现在 250ms 至 350ms 之间, 波幅最大处位于中线的中前部电极处, 左右两侧波形无明显差异。因此, 在参照已有研究报告 (Gehring Wilbushby 2002) 的基础上, 决定取 230~350ms 时间窗口内 N2 的波峰与其前面正波波峰的差值作为 ERN 的波幅, 共有 9 个点 (F1, C1, P1, Fz, Cz, Pz, F2, C2, P2) 进入统计分析, 分别使用 SPSS 13.0 统计软件包对 ERN 的波幅和潜伏期进行 3 (责任大小: 1, 1/2, 1/3) \times 3 (左右位置: 左、中、右) \times 3 (前后位置: F 区域、C 区域、P 区域) 三因素重复测量分析。而 P300 则是取 350~550ms 时间窗口内的平均波幅 (从基线到波峰) 作为测量指标, 取点和统计方法与 ERN 一致, 方差分析中的自由度采用 Greenhouse-Geisser 法进行校正。

使用 BESA 5.1.2 (德国 MEGIS Software GmbH) 软件, 采用偶极子拟合的方法在四壳球模型中, 对总

平均 ERP 波形中的 ERN 和 P300 进行源定位分析。偶极子位置的三维坐标以 Talairich 坐标系作为参考。

3 结果

3.1 行为及主观评定数据

为了了解前一个 trial 的反馈对于被试后续行为的影响, 我们统计了所有被试分别在自己选错和自己选对两种条件下改选的比例, 结果发现, 被试在选错后更倾向于选择另外一个选项 (改选率: 0.59 ± 0.14), 而在选对后则更倾向于维持原来的选则 (改选率: 0.30 ± 0.10), Wilcoxon 符号秩次检验发现两种条件下的改选率差异显著, $Z = -3.35, p = 0.001$ 。

对被试在三种条件下的情绪强度进行重复测量方差分析发现, 三种水平下的情绪强度差异显著, $F(2, 28) = 17.22, p < 0.001$ 。事后比较发现, 责任性为 1 时的情绪强度 (7.07 ± 1.34) 要明显大于责任性为 1/2 (4.67 ± 1.50) 和责任性为 1/3 (4.40 ± 2.29) 的情绪强度, 而 1/2 和 1/3 两种条件之间无显著差异; 三种水平下的责任感大小差异显著, $F(2, 28) = 18.72, p < 0.001$ 。事后比较发现, 责任性为 1 时的责任感 (7.20 ± 1.42) 要明显大于责任性为 1/2 (4.27 ± 1.94) 和责任性为 1/3 时 (4.07 ± 2.25) 的责任感, 而 1/2 和 1/3 两种条件之间无显著差异; 而在对自己的反事实思维上, 三种水平差异显著, $F(2, 28) = 25.16, p < 0.001$ 。事后比较发现, 两两之间的差异均显著 ($p < 0.05$), 责任性为 1 时的强度 (7.07 ± 0.49) 最大, 责任性为 1/2 (4.44 ± 0.40) 时次之, 责任性为 1/3 (3.33 ± 0.49) 最小 (见图 2)。

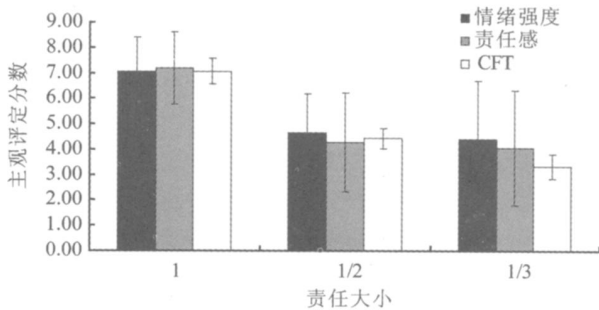


图 2 三种责任大小下情绪强度、责任感及反事实思维 (CFT) 强度 (主观评价) 的差异

3.2 ERP 结果

3.2.1 ERN 三种条件下 ERN 波峰出现的潜伏期 (278.00 ± 22.42 ms) 无显著差异, 而在 ERN 的

波幅 (-3.02 ± 0.38LV) 上, 责任性的主效应显著: $F(2, 28) = 6.05, p = 0.01, E = 0.76$ 其中, 责任性为 1 时的波幅 (-3.74 ± 0.42LV) 要明显大于责任性为 1/2 (-2.41 ± 0.39LV) 和责任性为 1/3 (-2.189 ± 0.51LV) 的波幅, 而 1/2 和 1/3 两种条件之间无显著差异; 左右位置的主效应不显著: $F(2, 28) = 0.05, p = 0.90, E = 0.71$; 前后位置的主效应显著, $F(2, 28) = 7.56, p = 0.007, E = 0.79$, 最大波幅出现在 F 区域 (-4.11 ± 0.56LV), 而 C 区域 (-2.50 ± 0.43LV) 和 P 区域 (-2.44 ± 0.42LV) 间无显著差异。责任性和左右位置的交互作用不显著: $F(4, 56) = 1.59, p = 0.36, E = 0.66$, 责任性和前后位置的交互作用边缘显著, $F(4, 56) = 3.27, p = 0.06, E = 0.49$, 简单效应检验表明 C 区域上三种责任性差异不显著 ($p > 0.1$), 而 F 区域和 P 区域上三种责任性差异显著 ($p < 0.05$)。左右位置和前后位置的交互作用显著, $F(4, 56) = 7.57, p < 0.0001, E = 0.82$, 最大波幅出现在 Fz 点 (-4.28 ± 0.158LV), 脑区分布上前部波幅大于后部的趋势在中线和右侧上表现得比左侧更为显著。三因素间的交互作用不显著, $F(8, 112) = 0.75, p = 0.54, E = 0.41$ (见图 3)。

3.2.2 P300 三种条件下 P300 波峰出现的潜伏期 (406.60 ± 54.84ms) 无显著差异, 而在平均波幅 (13.84 ± 1.02LV) 上, 责任性的主效应显著: $F(2, 28) = 19.32, p < 0.001, E = 0.86$, 其中责任性为 1 时的波幅值最小 (12.72 ± 0.99LV), 1/2 次之 (13.90 ± 1.02LV), 1/3 最大 (14.90 ± 1.11LV), 两两之间的差异均显著 ($p < 0.05$); 左右位置的主效应显著: $F(2, 28) = 16.41, p < 0.001, E = 0.69$, 中线位置的波幅最大 (14.53 ± 1.13LV), 而左侧 (13.64 ± 0.93LV) 和右侧间 (13.36 ± 1.03) 无显著差异; 前后位置的主效应显著: $F(2, 28) = 15.13, p = 0.0001, E = 0.64$, F 区域的波幅 (10.13 ± 1.16LV) 显著小于 C 区域 (16.11 ± 1.30LV) 和 P 区域 (15.28 ± 1.23LV) 的波幅, C 区域和 P 区域的波幅无显著差异; 责任性和左右位置的交互作用不显著: $F(4, 56) = 1.44, p = 0.25, E = 0.71$, 责任性和前后位置的交互作用显著, $F(4, 56) = 9.86, p < 0.001, E = 0.57$, 简单效应检验表明, F 区域上责任性 1 和责任性 1/2、1/3 差异显著 ($p < 0.05$), 责任性 1/2 和 1/3 之间差异不显著 ($p > 0.1$), 而 C 区域和 P 区域上三种责任性之间差异均显著。左右位置和前后位置的交互作用不显著, $F(4, 56) = 1.27, p = 0.30, E =$

0167. 三个因素之间的交互作用不显著, $F(8, 112) = 1123, p = 0.31, E = 0.58$ (见图 3)。

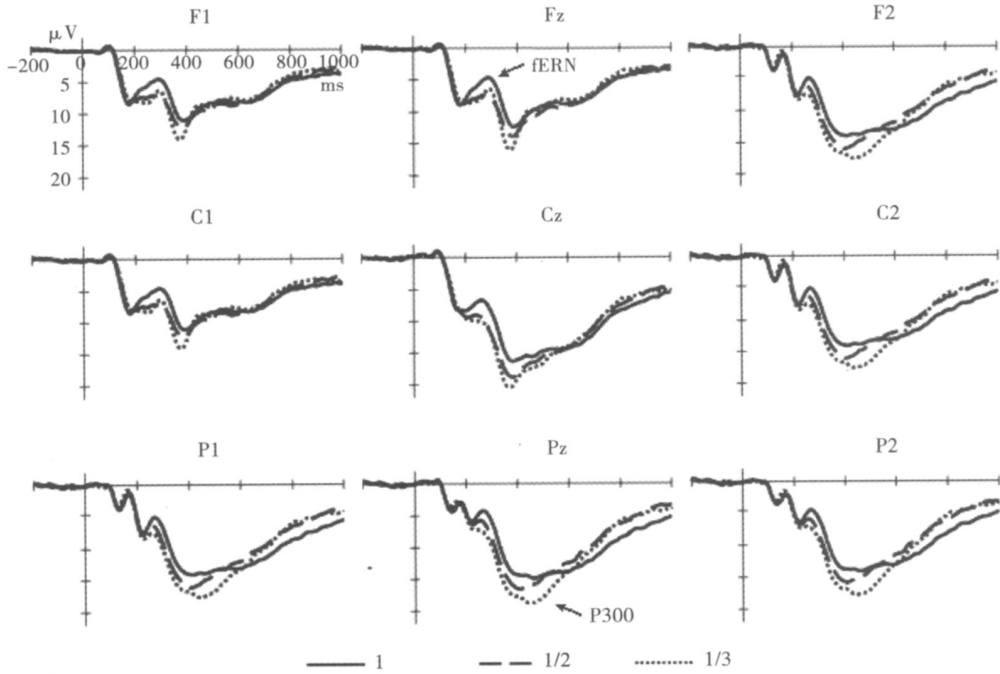


图 3 三种责任大小条件下的各电极点的 ERP 波形,其中, fERN 的峰值出现在 278ms 左右, P300 的峰值出现在 407ms 左右。

3.3 偶极子溯源分析结果

ERN: 由于可能受到时间接近的成分的影响, 因此采用责任性为 1 时, 被试猜错减去猜对的差异波作为分析对象, 重建 ERN 峰出现前后约 30ms 即反馈信息呈现后 250~310ms 时间窗口内的源。两个主成分可以解释绝大多数的变异。用两个偶极子进行溯源分析, 两个偶极子分别定位在右半球扣带回 (right ACC, Talairach 坐标: 10, 12, 30, Brodmann 24 区) 和海马旁回附近 (right subgyral, Talairach 坐标: 16, -41, -5, Brodmann 30 区) (见图 4

(A)), 残差为 9.80%。

P300 同样, 为避免相邻成分的影响, 因此采用被试猜错时, 责任性为 1 (责任最大) 减去责任性为 1/3 (责任最小) 的差异波作为分析对象, 重建 400~460ms 时间窗口内的源。结果发现, 两个偶极子能较好地解释其变异, 分别位于右半球的楔前叶 (right Precuneus, Talairach 坐标: 23, -63, 33, Brodmann 7 区) 和左半球的额中回 (left Medial Frontal Gyrus, Talairach 坐标: -5, -10, 55, Brodmann 6 区) (见图 4 (B)), 残差为 8.20%。

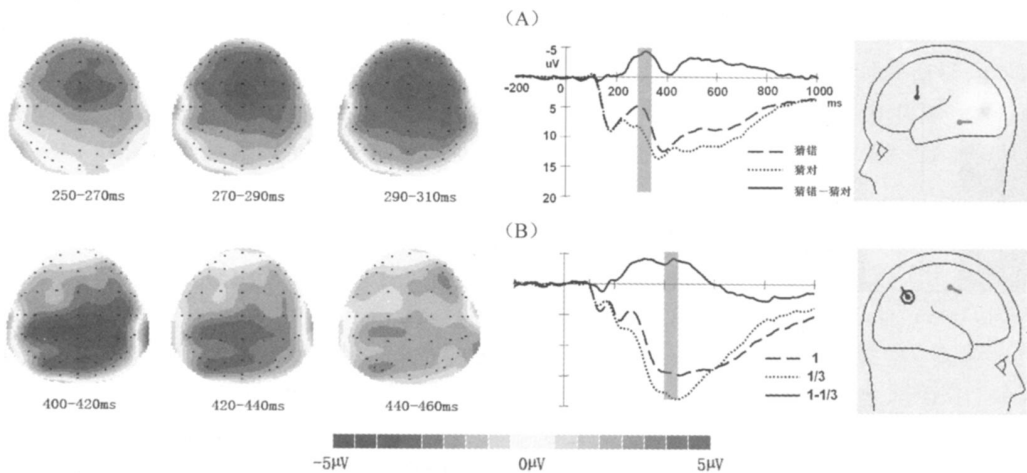


图 4 (A) 责任性为 1 时, 被试猜错 - 猜对的差异波、脑地形图 (250~310ms) 及偶极子溯源分析图, 所示电极点为 Fz (B) 被试猜错时, 责任为 1 - 责任为 1/3 的差异波、脑地形图 (400~460ms) 及偶极子溯源分析图, 所示电极点为 Pz

4 讨论

本研究的目的在于考察责任程度对后悔强度的影响。实验对个体负责的程度(由犯错人数决定)进行了操纵,以被试的主观评定和相关的脑电成分作为指标发现,被试单独犯错时的情绪强度、责任强度和ERN的波幅,都强于另外两种条件,而1/2和1/3之间没有明显差异;而被试反事实思维的强度以及P300的波幅大小,则会随着责任大小的变化而变化。与之前研究相比,本研究通过责任分散的方式证明了责任对结果评价有明显的影响,这种影响在不同时程上具有不同的特点。我们认为,这在一定程度上体现了后悔产生中的不同认知过程以及后悔强度的变化。

4.1 责任对ERN波幅的影响

被试单独负责和与他人共同负责之间出现差异,支持了ERN的二元评价假设(Goldstein et al., 2006; Hajcak, Holroyd, Moser, & Simons, 2005; Hajcak et al., 2006; Holroyd et al., 2006; Itagaki & Katayama, 2008), Nieuwenhuis等(2004, 2004)提出,ERN的二分标准取决于在实验程序中哪种信息对被试来说最为明显。本研究发现除了已知的输赢、利益等方面的因素以外,较为高级的社会因素(责任加工)也会对ERN的波幅造成影响:责任最大的情况下ERN的波幅最大。在这个评价的过程中,被试先是根据反馈区分了反应的对错,这是我们对结果产生责任感的基础(Knoblich & Sebanz, 2005);同时也对自己是否单独犯错作了一个简单而快速的区分。与其他情况相比,自己独自承担错误无疑是最坏的一个结果,与被试原有的预期偏离最大,被试对此的关注也最强,从而导致了自己在单独犯错的情况下的波幅显著大于另外两种情况。但由于对责任大小的进一步区分需要对整个结果做出评估后才能获得,因而1/2和1/3之间的差异没有能体现在ERN的波幅上。也就是说,责任大小也是个体判断结果好坏的一个重要依据,被试的预期可能建立在自己无需承担责任或是只需承担最小责任的基础上,自己单独犯错的结果严重背离了预期,导致ERN波幅的增大。因此,除了简单快速的/输/赢、得/失/0判断,有关责任判断的自上而下加工也会对ERN的波幅造成影响。

而另一种意见认为,ERN可能与强化学习过程中的行为调整有关。已有研究发现,当被试在下次决策中选择了相反的选项,被试在当前的结果评

价中会诱发更大的ERN波幅以及ACC区域更强的激活(Cohen & Ranganath, 2007; Hampton, Bossaerts, & O'Doherty, 2006; Holroyd & Coles, 2008)。后悔是与行为调整密切相关的一种情绪(Camille et al., 2004; Coricelli et al., 2005; Marchiori & Waglien, 2008)。行为结果也揭示了被试在自己选错的情况下更倾向于改变原来的选择。本研究认为被试在单独犯错的情况下,会认为结果更具有可变性,自己对结果的可控性更强,即只要自己改变了原来的选择就可以使整体的结果更好,从而诱发更强的反事实思维以及后悔体验,并影响ERN波幅的大小(Epstein & Roese, 2008; Masakj et al., 2006)。

4.2 责任对P300波幅的影响

P300的波幅在三种水平之间均有显著差异。这可能是被试因自己所负责任不同而对结果的注意资源分配上出现了差异(Fabiani, Gratton, & Federmeier, 2007),而这可能与被试需要对随后的行为进行调整有关。而Yeung和Sanfey(2004)根据其研究结果,认为P300的波幅是与决策中的高级情绪反应有关。Mai(2004)则认为,P300波幅与被试对决策结果的主观情绪体验有关,但与情绪的效价(正负)没有固定的对应关系,正性和负性的情绪图片均可以引发较大的P300波幅(Ito, Larsen, Smith, & Cacioppo, 1998; Michalski, 1999)。而在结果评价中,对于P300是否对结果的效价敏感,以及是正性还是负性的反馈结果能引发较大的P300波幅也有争议(Bellebaum & Daum, 2008; Yeung & Sanfey, 2004)。我们认为,后悔的产生过程涉及不同的加工阶段,与后悔相关的认知加工可能诱发了P300波幅的变化:1/3的情况是相对正性的,1/2次之,而1的情况则是最为负性的,这三种条件下的差异不仅仅反映了责任的变化,也可能涉及了主体的情绪因素:责任的变化引起了个体情绪强度的变化。此外,P300波幅的变化也可能与混合性情绪(0(Larsen, McGraw, & Cacioppo, 2001; Larsen, McGraw, Meesters, & Cacioppo, 2004)有关:自己单独犯错会使被试感到后悔,但别人的结果则会使我们的后悔体验变得更为复杂,甚至掺杂了失望、庆幸之类不同的情绪。结合溯源分析的结果,我们认为这一阶段涉及了不同认知加工以及不同脑区的共同作用。

此外,从图3可以看出,责任性三个水平的差异主要在中后部电极点上体现更为明显,说明与此加工相关的脑区可能在顶叶或颞顶交界区域。出现这

种结果的主要原因可能是 ERN 的波幅受到了 P300 的影响,从而导致了三种条件在 ERN 成分上出现一定的分离;也有可能是由于右侧顶下小叶与责任和控制感有关 (Forstmann, Brass, Koch, & von Cramon, 2006; Jackson & Decety, 2004),导致中后部电极的效应更为显著,偶极子定位的结果也证实了额叶后部和顶叶脑区的影响。

4.3 责任对主观体验的影响

在主观评定的指标方面,我们发现责任大小对于后悔的情绪强度、责任感和反事实思维都有影响:责任越大,相关的情绪体验越强,从而证明了责任对于后悔体验以及相关认知加工的影响。但所有的主观评定均是在实验完成后进行的,其确切程度与在看到结果后立即进行评价所得的结果相比仍会有一定距离。例如,后悔感和责任感只在 1 和 1/2、1/3 之间出现显著差异,这可能是由于被试在实验过程中所体验到的情感转瞬即逝,因而无法在实验后的报告中对这种微小的变化做出确切的评价,而反事实思维是被试重新对结果进行评估思考,不具有那么强的时间性,因而三个水平的差异得以体现,在不同的责任程度下,被试的反事实思维有所差别,而后悔恰恰是反事实思维的产物 (Kahneman & Miller, 1986; B. Meleis, et al., 1999; Niedenthal, Tangney, & Gavanski, 1994; Sevдали & Kokkinaki, 2006; Van Kleef, De Dreu, & Manstead, 2006; M. Zeelenberg, van Dijk, van der Pligt, et al., 1998)。因此该结果也可从一定程度上说明责任对后悔作用存在着一定的线性关系。

结合主观评定以及脑电的结果,我们认为,责任大小的确能够影响个体的后悔强度,其中还涉及了不同的子认知加工过程:当结果出现以后,被试首先对自己是否犯错和是否需要负责进行一个快速的评估,将单独犯错视为最负性的结果,而将不是单独犯错的结果视为相对正性;随后又对两位同伴的结果进行更为详细的评估,并从整体上思考了自己负责任大小、反事实思维以及其他方面的信息,形成调整行为的动机,从而导致了个体在主观情绪体验或认知资源投入方面出现差异。

4.4 后悔产生的神经回路

根据 Coricelli 等人 (2007) 的假设,后悔的产生涉及两个的加工过程:陈述性加工 (declarative process) 和自上而下的调整 (top-down modulation):前者是指个体通过陈述性的语言,描述结果及提醒自己在以后的决策中避免再出现类似的错

误,形成陈述性记忆,其主要加工区域为海马;后者是指个体根据已选项结果和未选项结果之间的比较和陈述性记忆,思考自己对结果应负的责任以及结果本应是什么的反事实思维过程 (认知调整),其主要加工区域为 OFC、背侧前扣带回和杏仁核。

我们对不同时间的脑电成分进行溯源分析发现, ERN 主要涉及的脑区是前扣带回和旁海马回,这个可能与结果的错误监控、行为调整以及陈述性记忆的唤起有关;而 P300 的偶极子定为则位于额中回和楔前叶。脑成像研究表明,包括额中回、前扣带回在内的后侧额中区 (pmFC) 与行为调整有关,这种调整既包括对当前的行动作出即时的调整,也要防止后面再次发生类似错误,以避免再次体验到这种负性情绪 (Brown & Braver, 2005; Coricelli et al., 2005; Hester, Barré, Mattingley, Foxe, & Garavan, 2007; Marchisari & Warglien, 2008; B. A. Meleis, et al., 1997; Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004; Marcel Zeelenberg & Beattie, 1997)。

5 结论

本研究的创新之处在于发现了在结果评价过程中,责任大小的影响不是一个简单的过程,它在不同的时间进程上表现不同:对于 ERN,被试单独犯错时的波幅要显著大于另两种条件的波幅,而这两种波幅之间无显著差异。对于 P300 三种条件下均有显著差异,负责任程度越小,波幅越大。被试事后评定的情绪强度和责任感在单独犯错时要强于 1/2 和 1/3 的条件,而反事实思维则在三种条件下均有显著差异。主观情绪体验和客观的生理数据之间严格的对应关系仍有待商榷。但在前人研究的基础上,我们综合脑电和主观评定的数据,认为这种差异可能与后悔的认知加工有关,并在一定程度上反映了后悔强度的变化,同时对个体的行为调整也有影响,反映了对决策的作用,为进一步了解后悔和责任之间的关系提供了一定的证据。

参 考 文 献

- Bell, D. E. (1982). Regret in decision making under uncertainty. *Operations Research*, 30 (5), 961-981.
- Bellebaum, C., & Daum, I. (2008). Learning-related changes in reward expectancy are reflected in the feedback-related negativity. *European Journal of Neuroscience*, 27 (7), 1823-1835.
- Brown, J., & Braver, T. (2005). Learned error matching in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 86

- 86.

- Canille N., Coricelli G., Sallet J., Prada-Diehl P., Duhamel J. R., & Sirigu A. (2004). The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret. *Science*, 304 (5674), 1167 - 1170.
- Chandrasekhar P. V. S., Capra C. M., Moore S., Noussair C., & Bemis G. S. (2008). Neurobiological regret and rejoice functions for aversive outcomes. *NeuroImage*, 39 (3), 1472 - 1484.
- Cohen M. X., & Ranganath C. (2007). Reinforcement learning signals predict future decisions. *Journal of Neuroscience*, 27 (2), 371- 378.
- Coricelli G., Critchley H. D., Joffily M., O'Doherty J. P., Sirigu A., & Dolan R. J. (2005). Regret and its avoidance: a neuroimaging study of choice behavior. *Nature Neuroscience*, 8 (9), 1255- 1262.
- Coricelli G., Dolan R. J., & Sirigu A. (2007). Brain, emotion and decision making: the paradigmatic example of regret. *Trends in Cognitive Science*, 11 (6), 258- 265.
- Ehliş A. C., Hermann M. J., Bernhard A., & Fallgatter A. J. (2005). Monitoring of internal and external error signals. *Journal of Psychophysiology*, 19 (4), 263- 269.
- Epstude K., & Roese N. J. (2008). The functional theory of counterfactual thinking. *Personality and Social Psychology Review*, 12 (2), 168- 192.
- Fabiani M., Gratton G., & Fedemeier K. (2007). Event-Related Brain Potentials: Method, Theory, and Applications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Bemson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 85- 119). New York: Cambridge University Press.
- Forstmann B. U., Brass M., Koch I., & von Cramon D. Y. (2006). Voluntary selection of task sets revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18 (3), 388- 398.
- Fujiwara J., Tobler P. N., Taira M., Iijima T., & Tsutsui K. I. (2008). A parametric relief signal in human ventrolateral prefrontal cortex. *NeuroImage*.
- Goldstein R. Z., Cottone L. A., Ji Z., Mabney T., Volkow N. D., & Squires N. K. (2006). The effect of graded monetary reward on cognitive event-related potentials and behavior in young healthy adults. *International Journal of Psychophysiology*, 62 (2), 272- 279.
- Hajcak G., Holroyd C. B., Moser J. S., & Simons R. F. (2005). Brain potentials associated with expected and unexpected good and bad outcomes. *Psychophysiology*, 42 (2), 161- 170.
- 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.
- Hampton A. N., Bossaerts P., & O'Doherty J. P. (2006). The role of the ventromedial prefrontal cortex in abstract state-based inference during decision making in humans. *Journal of Neuroscience*, 26 (32), 8360- 8367.
- Hester R., Barré N., Mattingley J. B., Foxe J. J., & Garavan H. (2007). Avoiding another mistake: Error and posterior neural activity associated with adaptive posterior behavior change. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 7 (4), 317 - 326.
- Holroyd C. B., & Coles M. G. H. (2008). Dorsal anterior cingulate cortex integrates reinforcement history to guide voluntary behaviour. [Article]. *Cortex*, 44 (5), 548- 559.
- Holroyd C. B., Hajcak G., & Larsen J. T. (2006). The good, the bad and the neutral: electrophysiological responses to feedback stimuli. *Brain Research*, 1105 (1), 93- 101.
- Itakagi S., & Katayama J. (2008). Self-relevant criteria determine the evaluation of outcomes induced by others. *NeuroReport*, 19 (3), 383- 387.
- Ito, T. A., Larsen J. T., Smith N. K., & Cacioppo J. T. (1998). Negative information weighs more heavily on the brain: the negativity bias in evaluative categorizations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75 (4), 887- 900.
- Jackson P. L., & Decey J. (2004). Motor cognition: a new paradigm to study self/other interactions. *Current Opinion in Neurobiology*, 14 (2), 259- 263.
- Kahneman D., & Miller D., T. (1986). Norm Theory: Comparing Reality to Its Alternatives. *Psychological Review*, 93 (2), 136.
- Knoblich G., & Sebanz N. (2005). Agency in the face of error. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (6), 259- 261.
- Krizan, Z., & Windschitl P. D. (2007). The influence of outcome desirability on optimism. *Psychological Bulletin*, 133 (1), 95 - 121.
- Larsen J. T., McGraw A. P., & Cacioppo J. T. (2001). Can people feel happy and sad at the same time? *Journal of Personality and Social Psychology*, 81 (4), 684- 696.
- Larsen J. T., McGraw A. P., Mellers B. A., & Cacioppo, J. T. (2004). The agony of victory and thrill of defeat: Mixed emotional reactions to disappointing wins and relieving losses. *Psychological Science*, 15 (5), 325- 330.
- Latane B., & Darley J. M. (1968). Group inhibition of bystander intervention in emergencies. *Journal of Personality and Social Psychology*, 10 (3), 215- 221.
- Loomes G., & Sugden, R. (1982). Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice under Uncertainty. *The Economic Journal*, 92 (368), 805- 824.
- Maj X. (2004). The Neural Basis of Outcome Evaluation in Complex Cognitive Activities. Unpublished Doctoral Dissertation. Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing. [买晓琴. (2004). 复杂认知活动中结果评价的神经机制. 博士学位论文. 中国科学院心理学研究所.]
- Marchiorj D., & Warglien, M. (2008). Predicting human interactive learning by regime-driven neural networks. *Science*, 319 (5866), 1111- 1113.
- Masaki H., Takeuchi S., Gehring W. J., Takasawa N., &

Yamazaki K. (2006). Affective-motivational influences on feedback-related ERPs in a gambling task. *Brain Research*, 1105 (1), 110- 121

Mates E., & Kahn, A. (1973). Diffusion of Responsibility and Extreme Behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 31 (5), 881- 886

Mellers B., Schwartz A., & Ritov I (1999). Emotion-Based Choice. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128 (3), 332- 345

Mellers B. A., Schwartz A., Ho K., & Ritov, I (1997). Emotional Reactions to the Outcomes of Risky Options. *Psychological Science*, 8 (6), 423- 429.

Michalski A. (1999). The effect of accomplishment and failure on P300 potentials evoked by neutral stimuli. *Neuropsychologia*, 37 (4), 413- 420

Niedenthal P. M., Tangney, J. P., & Gavanjki I (1994). "If Only I Weren't" Versus "If Only I Hadn't": Distinguishing Shame and Guilt in Counterfactual Thinking. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67 (4), 585- 595

Nieuwenhuis S., Holroyd, C. B., Mo J. N., & Coles M. G. H. (2004). Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: origins and functional significance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28 (4), 441- 448.

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.

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.

Sevdalis N., & Kokkinaki F. (2006). The differential effect of realistic and unrealistic counterfactual thinking on regret. *Acta Psychologica (Amst)*, 122 (2), 111- 128

Ullsperger M., Nittono H., & von Cramon D. Y. (2007). When goals are missed: Dealing with self-generated and externally induced failure. *NeuroImage*, 35 (3), 1356- 1364.

Van Kleef G. A., De Dreu C. K. W., & Manstead, A. S. R. (2006). Supplication and appeasement in conflict and negotiation: The interpersonal effects of disappointment, worry, guilt, and regret. *Journal of Personality and Social Psychology*, 91 (1), 124 - 142

Whyte G. (1991). Diffusion of Responsibility: Effects on the Escalation Tendency. *Journal of Applied Psychology*, 76 (3), 408 - 415

Yeung N., & Sanfey, A. G. (2004). Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 24 (28), 6258- 6264.

Zeelenberg M., & Beattie J (1997). Consequences of Regret: A version 2. Additional Evidence for Effects of Feedback on Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 72 (1), 63- 78

Zeelenberg M., van der Pligt J., & de Vries N. K. (2000). Atributions of responsibility and affective reactions to decision outcomes. *Acta Psychologica*, 104 (3), 303- 315

Zeelenberg M., van Dijk, W. W., & Manstead A. S. R. (1998). Reconsidering the Relation between Regret and Responsibility. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 74 (3), 254- 272.

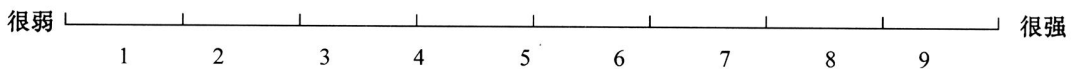
Zeelenberg M., van Dijk, W. W., van der Pligt J., Manstead A. S. R., van Empelen P., & Reindeman, D. (1998). Emotional Reactions to the Outcomes of Decisions: The Role of Counterfactual Thought in the Experience of Regret and Disappointment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 75 (2), 117- 141.

附录: 事后评定量表

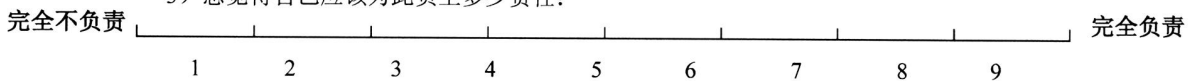
当您看到一个对家和自己选错 (三个人都选错 / 一个对家和自己选对 / 三个人都选对 / 只有自己一个人选对 / 只有自己一个人选错) 时:

1) 您的心情是: 失望 后悔 懊丧 遗憾 悲伤 愤怒 惊讶 没什么感觉 其他

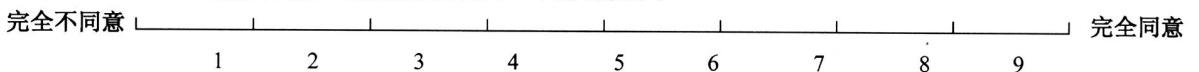
2) 强度是:



3) 您觉得自己应该为此负上多少责任:



4) 您是否同意“要是我选了另外一个选项就好了”



The Influence of Responsibility on the Regret Intensity: An ERP Study

ZHANG Huijun¹, ZHOU Liming¹, LUO Yuejia^{1,2}

(¹State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

(²Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract

Regret is defined as an emotion that occurs when the outcome is worse than it could have been had one made a different choice. Its neural mechanism has become a hot area in social cognitive neuroscience. The orbitofrontal cortex (OFC) has been shown to play a key role in the experience of regret. Researchers propose that regret feeling and activities of OFC could be influenced by the degree of responsibility in choice process. Prior behavioral research indicated that responsibility influenced the regret feeling about incorrect decisions. But to date the relationship between responsibility magnitude and regret intensity has not been explored. Whether an individual would experience gradually augmented regret as a result of the increment of responsibility is the core question in our study. The responsibility level is the main independent factor in the current experiment. According to the theory of responsibility diffusion, the levels of responsibility could be manipulated by the number of people responsible for an incorrect choice on a trial-by-trial basis. The more individuals shall make a decision, the weaker sense of responsibility they would feel. We also intend to explore this effect by investigating temporal process, brain activities, as well as self-reported ratings. Thus, the special components of ERPs, including fERN and P300, were measured in a gamble task fulfilled by three participants together. We hypothesized that the amplitudes of fERN would be significantly different between the condition of taking responsibility alone and the other conditions.

An ERP experiment with 15 undergraduates (8 males, 7 females) was conducted to test the hypothesis. The result of each trial was displayed by an equilateral triangle. There were three levels of responsibility: 1 (the participant made the wrong choice by his/herself); 1/2 (the participant and one of the collaborators made the wrong choice); 1/3 (all three participants made the wrong choice). Participants' event-related potential data during the presence of the triangle, as well as the self-reported ratings were analyzed offline. The fERN was calculated as the voltage difference between the most negative peak between 250-350ms and the preceding positive peak after the appearance of feedback, while the amplitude of P300 was calculated as the mean amplitude between 350-550ms. The brain electrical source analysis technique (BESA) was also conducted to estimate the dipole sources of fERN and P300.

Participants' sense of responsibility was much higher in the wrong choice alone condition than the other conditions and the evaluation of counterfactual thinking became higher as the magnitude of responsibility went larger. The amplitude of fERN was distinctively larger in the wrong choice alone condition than the other conditions, indicating that binary evaluation was also influenced by top-down modulations. On the other hand, the P300 amplitude was inversely related to the number of people responsible for an incorrect choice. This is consistent with the notion that their personal accountability for the consequences of a choice influences the allocation of attentional and cognitive resources to the task. Sourcing analysis showed that fERN might be generated from brain regions near the anterior cingulate cortex (ACC) and right subgyral, while the P300 was related to the precuneus and medial frontal gyrus.

The result confirms our hypothesis that increment of responsibility leads to stronger regret feelings. It also implies that error-related processing could be modulated by responsibility magnitude, which in turn regulates feelings of post-decision regret.

Key words: regret; responsibility; outcome evaluation; the ERPs