

作为效应的 ERP 研究^{*}

陈满琪¹, 方平², 姜媛³

(1. 中国社会科学院 社会学研究所, 北京 100732; 2. 首都师范大学 心理学系, 北京 100048;

3. 北京体育大学 运动心理学教研室, 北京 100084)

摘要: 晚正成分能够反映不同效价和不同唤醒度的情绪。作为后悔的一种现象, 作为效应是否与晚正成分具有关联是研究关心的问题。采用运气轮博弈的范式, 记录与分析被试在“做”与“不做”决策下的 ERPs。研究发现, 决策结果的正误显著影响了 FRN、P300 和 LPC 的波幅大小。作为类别对 FRN、P300 和 LPC 波幅的影响受到不同决策结果的影响, 在决策正确的条件下, 作为类别对 FRN、P300 和 LPC 波幅不产生影响, 而在决策错误的条件下, 作为类别对 FRN、P300 和 LPC 波幅产生了显著的影响。结果表明作为效应不仅影响了 FRN、P300 的波幅, 同时也影响了 LPC 的波幅, 将来研究应进一步探明晚正成分与后悔的密切关联。

关键词: 作为效应; FRN; P300; LPC

中图分类号: B842.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-5184(2011)05-0428-06

1 引言

作为效应(action effect)是指面对负向结果引发的后悔, 做(action)引起的后悔强度大于不做(inaction), 该效应最早由 Kahneman 等发现^[1]。对于作为效应的出现, 一种解释认为“做”导致个体承担了更大的责任, 所以后悔的体验程度更深。这一解释获得了大量行为研究的支持。Frijda 等指出在主动选择和高责任情绪下后悔强度更强^[2]。Roseman 等也表明后悔与自我行动、自我责任感有关^[3]。责任对后悔强度的影响也获得了神经生理研究的支持。在已有研究发现 OFC(orbital frontal cortex, OFC)在调节后悔情绪的体验中起着重要作用的基础上^[4], Coricelli 等更进一步的研究采用运气轮博弈任务, 以计算机选择为低责任条件、被试主动选择为高责任条件, 结果表明责任感对结果的加工产生了显著影响, 同时也影响了 OFC 的激活水平, 可见被试对结果的情绪体验受责任水平的影响^[5]。张慧君等研究发现, 责任大小影响了 FRN 与 P300 的波幅^[6]。然而, 作为与责任密切相关的一种后悔现象, 作为效应不仅可能体现在 FRN(feedback-related negativity, FRN)和 P300 上, 甚至可能还体现在 LPC(late

positive component, LPC)上。其证据在于, 研究已表明晚正成分能够反映不同效价和不同唤醒度的情绪^[7,8], 同时情绪的调节策略也对晚正成分的波幅产生了影响^[9]。作为效应本质上是人们的后悔情绪具有不同唤醒程度的一种效应, 因此它可能与晚正成分具有密切的关联。对作为效应的研究一方面将加深人们对后悔加工进程的了解, 另一方面将进一步明确后悔与 LPC 之间的关联。

2 研究方法

2.1 被试

共 23 名被试, 均为在校本科生, 所有的被试均为右利手, 年龄范围 20~24 岁, 平均年龄 21.3 岁, 视力或者矫正后视力正常, 身体健康, 无严重病史记录。实验结束后将根据博弈任务所获得的金额给予相应的报酬。23 名被试中, 3 名系统地选择接受或者不接受建议而被剔除, 另 2 名因动作较多, 伪迹较大而被剔除, 因此脑电数据和行为数据的最后统计人数为 18 人, 其中男性 9 人, 女性 9 人。

2.2 实验程序

被试坐在隔音屏蔽室内的沙发里, 要求注视计算机屏幕中央的注视点, 显示器背景为黑色, 距离被

^{*} 基金项目: 国家社会科学基金青年项目(11CSH044), 国家社会科学基金(BBA090065), 国家社会科学基金(09BSH042), 中国社会科学院国情调研课题。

通讯作者: 方平, E-mail: pfang2007@126.com。

试80 cm左右。实验采用运气轮博弈范式,首先在注视点两边相等距离呈现两个运气轮,轮子由白色和灰色构成。颜色部分的大小表明结果的概率,轮子的概率值为0.5/0.5和0.8/0.2,每个概率对应一定金额(+5; -5; +20; -20),在两个轮子边上随机呈现白色方框,用以提示被试系统的建议性信息。随后呈现“接受”与“不接受”的选项,要求被试对于系统的建议性信息做出是否接受的决策。再次,在被试做出决策后,在其所选择的选项边上出现白色边框,提醒被试该选项是其最后所选择的选项。第四在完全反馈中既告知被试其所选择选项的结果,也告知未选择选项的结果,使被试可以意识到做出另一种的选择时“本可以”得到的结果。在反馈信息中包含两个方面,一是获得金额;二是决策正误。若系统提供了正确的建议,同时被试接受建议(正确接受),或者系统提供错误建议,同时被试拒

绝系统建议(正确拒绝),说明其决策正确,用蓝色表示;若系统提供了正确建议,而被试不接受建议(错误拒绝),或者系统提供了错误建议,而被试接受了建议(错误接受),说明其决策失误,用红色表示。在每个trial后要求被试在9点量表上评定情绪状态,-9表示“非常地后悔”,9表示“非常地高兴”。具体流程见图1。实验由2个组块共172个系列构成。每个系列的结果事先经过随机确定,并且结果的概率与选项的实际概率相同。系统建议实为随机建议,风险选项与安全选项的建议次数相等。“接受”与“不接受”的左右按键、颜色反馈、选项左右位置在被试间平衡。所获得的总金额在每个组块结束后呈现。每个组块呈现获得的总金额,并伴有短暂休息时间。要求被试获得尽可能多的金额。正式实验前让被试充分练习。实验的具体流程如图1所示。

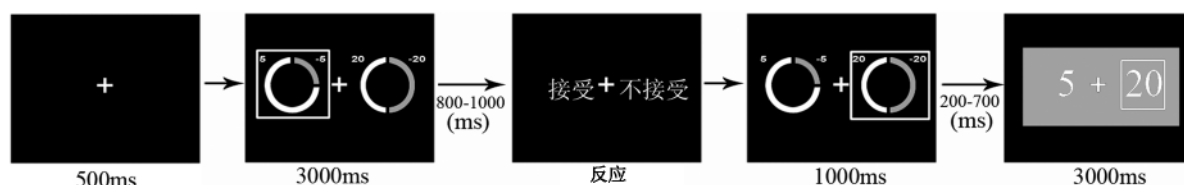


图1 作为效应的流程图

2.3 ERPs的记录与获得

采用Neuroscan公司生产的ESI-64导脑电记录分析系统和Ag/AgCl电极帽,连续记录决策过程中62个单极导联的脑电(EEG)。电极位置采用10-20扩展电极系统,所有的电极位置坐标都用三维数字化仪进行精确测量和记录。另外有4个电极记录眼电:左眼眶上、下侧2个电极记录垂直眼电,两眼外侧的2个电极记录水平眼电。参考电极置于右侧乳突,地点在Fpz和Fz连线的中点。滤波带通为0.05~100 Hz,A/D采样率为500 Hz。电极与头皮接触电阻均小于5 K Ω 。

2.4 数据分析

对脑电记录的迭加平均处理脱机进行,仅对结果反馈阶段的脑电数据进行分析,分析窗口为-100~1000 ms,用-100~0 ms作为基线进行矫正。伴有眨眼、眼动、肌电等伪迹的数据均被排除,排除标准为 $\pm 75\mu V$ 。根据实验的目的,对四种条件进行分类叠加:将被试正确地接受系统建议叠加为接受——正确;将被试错误地接受系统建议叠加为接受——错

误;将被试正确地拒绝系统建议叠加为拒绝——正确;将被试错误地拒绝系统建议叠加为拒绝——错误。由于选择选项与未选择选项结果相同的情况比较少,叠加数不够,故排除在数据处理之列。

研究分析的主要成分是FRN,P300和LPC。波形图显示,FRN主要出现在反馈刺激呈现后的170 ms至310 ms之间,最大峰值位于300 ms左右,波幅最大位于中线的中前部电极。根据已有的分析方法,拟决定采用170~310 ms时间窗口内N2的波峰与其前面正波波峰的波幅差值作为FRN的波幅^[5,10]。P300主要出现在反馈刺激呈现后的300 ms至400 ms之间,最大峰值位于340 ms左右,波幅最大位于中线的中央区部位。结合研究所获得的波形图和已有研究对P300的分析及界定^[11],P300分析采取平均振幅的方法,取300 ms~400 ms内的平均波幅作为P300测量指标。P300之后紧随着一个较大的LPC,该成分紧随着P300,时程从500 ms左右持续至1000 ms,最大峰值位于630 ms左右。LPC分析采取平均振幅的方式,取500~900 ms时间窗口内的平均

波幅作为 LPC 的测量指标^[2]。针对上述三个成分的分析,选择了几个代表性电极进行分析:额区的 F3、Fz、F4;中央区的 C3、Cz、C4;顶区的 P3、Pz、P4。所有分析使用 SPSS15.0 软件包进行,同时使用 Greenhouse - Geisser 校正法。

3 数据结果

3.1 行为结果

表 1 作为效应决策正确与决策错误的情绪评定结果

	<i>M</i>	<i>SD</i>
接受——正确	6.23	1.47
接受——错误	-5.40	1.44
拒绝——正确	6.15	1.53
拒绝——错误	-5.56	1.48

2(决策结果:正确;错误)×2(作为效应:作为;不作为)的重复测量方差分析表明,决策结果对情绪评定有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 367.17, p < 0.001$,作为效应的情绪评定不具有显著的主效应,两者也不具有显著的交互效应。

3.2 ERPs 结果

对决策结果(2个水平:正确与错误),作为类别(2个水平:接受与拒绝),脑区(3个水平:额区、中央区、顶区)和左—右位置(3个水平:左侧、中线、右侧)进行四因素的重复测量方差分析。对于研究所关心的作为效应,结果分析更重要的是考察拒绝/错误与接受/错误在上述三个成分之间的差异,因此进一步分析了拒绝/错误与接受/错误对各成分的影响。波形图与部分地形图见图 2。

分析结果表明,决策结果在 FRN 的波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 5.74, p < 0.001$ 。作为类别×脑区两者在 FRN 的波幅上具有边缘显著的交互作用, $F_{(2,34)} = 3.72, p = 0.053$,简单效应检验表明,作为类别仅在额区具有 FRN 波幅的显著差异, $F_{(1,17)} = 5.56, p < 0.05$ 。进一步分析发现,在决策正确的条件下,作为效应对 FRN 波幅不具有显著的影响, $p > 0.05$ 。在决策错误的条件下,作为类别×脑区两者在 FRN 的波幅上具有显著的交互作用, $F_{(2,34)} = 4.89, p < 0.05$ 。简单效应检验表明,作为类别仅在额区具有 FRN 波幅的显著差异, $F_{(1,17)} = 4.56, p < 0.05$ 。

决策结果×作为类别×脑区×左—右位置在 P300 波幅上具有显著的交互作用, $F_{(4,68)} = 5.45, p$

< 0.05 。简单效应检验表明,在决策结果为正确的条件下,作为类别在不同脑区与不同位置对 P300 波幅均不具有显著的影响, $p > 0.05$ 。在决策结果为错误的条件下,作为类别在 P300 波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 5.02, p < 0.05$ 。

决策结果在 LPC 波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 16.95, p < 0.01$,作为类别在 LPC 波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 8.92, p < 0.01$,决策结果×脑区×左—右位置三者 in LPC 波幅上具有显著的交互作用, $F_{(4,68)} = 2.79, p = 0.05$ 。进一步分析发现,在决策结果为正确的条件下,作为类别在不同脑区与不同位置对 LPC 波幅均不具有显著的影响, $p > 0.05$ 。在决策结果为错误的条件下,作为类别在 LPC 波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 18.99, p < 0.001$,脑区在 LPC 波幅上具有显著的主效应, $F_{(1,17)} = 19.60, p < 0.001$ 。

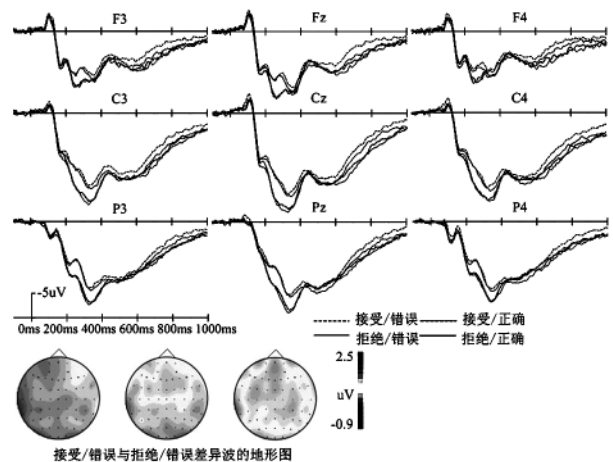


图 2 决策结果和作为效应的波形图和部分差异波地形图

4 讨论与结论

在情绪评定上,决策结果对情绪评定产生了显著的影响。与行为结果一致的是,在事件相关电位上决策结果的正误显著影响了 FRN、P300 和 LPC 的波幅大小,错误决策诱发比正确决策更为负向的 FRN,正确决策诱发了比错误决策更为正向的 P300 和 LPC。虽然行为结果并没有发现作为效应在情绪评定上的差异,但是与行为结果不一致的是,在事件相关电位上作为类别对 FRN、P300 和 LPC 波幅的影响受到不同决策结果的影响,在决策正确的条件下,作为类别对 FRN、P300 和 LPC 波幅不产生影响,而在决策错误的条件下,作为类别对 FRN、P300 和

LPC 波幅产生了显著的影响,表现为在额区接受/错误比拒绝/错误诱发了更为负向的 FRN,拒绝/错误诱发了比接受/错误更为正向的 P300 和 LPC。

从行为结果来看,行为结果与脑电结果存在不一致的现象。虽然作为效应在情绪评定上并没有差异,但是从电生理角度上却发现在决策错误条件下作为类别对 ERPs 的影响。行为与生理指标之间的不一致现象在许多研究中都存在过。Brosschot 等研究发现,情绪的口头报告与生理指标间存在着分离现象,表现为被试的皮电提高但其口头报告强度并没有相应提高,情绪抑制者对于威胁事件比非抑制者具有更低的情绪评定,但是他们的自主生理反应却与情绪报告不一致,表现为皮电和心率等生理指标反应的提高^[13]。

从决策结果的分析来看,决策结果显著影响了 FRN、P300 和 LPC 的波幅大小,这与以往研究结果一致。就 FRN 而言,已有研究认为 FRN 主要加工反馈刺激所反映的决策正误等显著性信息^[14],FRN 波幅的增加表明正在进行的事件比预期更为糟糕,FRN 波幅的减少表明正在进行的事件比预期更为良好^[15]。就 P300 而言,积极反馈的 P300 波幅大于消极反馈,这与以往研究结果一致。Michalski 的研究通过给予被试成功或未成功的反馈引发被试的 P3,表明未成功的负向反馈减小了 P300 的波幅,而积极反馈与无反馈之间均诱发了比负向反馈更大波幅的 P300^[16]。Keil 等采用标准国际情绪图片系统的 ERP 研究发现,积极情绪与消极情绪比中性情绪诱发更大的 P300^[17]。但是亦有研究发现消极反馈比积极反馈诱发更大的 P300 波幅。Ito 等发现与情绪唤醒的主观评价一致,消极情绪刺激的 P3 大于积极情绪^[18]。研究者认为 P300 在不同效价之间并没有对应关系,可能与主观体验有关^[19]。就 LPC 而言,积极效价情绪比消极效价情绪具有更大的晚正成分,这与以往研究结果相一致。Bernat 等呈现积极效价的情绪形容词和消极效价的情绪形容词时发现,积极情绪的形容词在晚正成分上均比消极形容词引发更为正走向的波幅^[20]。Amrhein 等的研究发现,在前部脑区积极图片比中性和消极图片产生更大的正向波^[21]。

从作为效应的分析来看,作为效应对 FRN 和 P300 波幅产生了影响,这种波幅的差异是由于“做”

与“不做”所承担的责任不同造成的^[8]。更重要的是,研究发现作为效应对 LPC 的波幅产生了显著的影响,拒绝/错误比接受/错误诱发了更为正向的 LPC。这是以往研究鲜少关注的成分。作为效应在 LPC 波幅上的差异是由于“做”与“不做”所承担的责任不同,从而导致的后悔唤醒程度不同,也就是说 LPC 的波幅差异反映了后悔唤醒程度的差异。这符合了 LPC 可反映情绪唤醒度的研究结果。已有研究较为一致地表明高唤醒度的情绪比低唤醒度的情绪诱发更大的晚正成分。Pollatos 等的研究发现,对自身生理唤醒(如心跳)内省体验能力较好的被试,具有更高的唤醒度评价,表现在 ERP 波幅上具有更大的慢波^[8]。研究进一步发现晚正成分随着唤醒度的变化,波幅随之发生变化^[21],当看最具有唤醒性图片时,其波幅也最大^[22,23],蜘蛛恐惧和蛇恐惧患者在加工害怕与中性害怕时,其晚期 ERP 成分较正常被试的波幅更大^[24]。地形图亦对此提供一定的佐证,“做”与“不做”在后悔情绪体验程度的差异其脑区更为靠前,这可能与自我反省有关。自我反省的研究结果发现,当要求被试对于个人特征和主观选择进行评价时,诱发了内侧前额皮层的更大激活,表明内侧前额皮层与自我相关刺激的评价和决策相关^[25,26]。

有趣的是,“做”与“不做”的愉悦之间没有差异,而“做”与“不做”的后悔之间存在差异,原因可能有两个方面。首先,可能在于“做”与“不做”的愉悦与“做”与“不做”的后悔之间个体在决策中所应承担的责任作为参照点有关。当决策失误时,“做”与“不做”与参照点具有更近的关系,而更容易诱发被试对于自己在决策失误中所应承担责任的反事实思维。Kahneman 等的标准理论认为任何事件均具有一定的标准,如果某个事件与标准相似则结果正常,如果某个事件与标准不相似则结果异常^[27]。结果越异常,标准性越低,可变性越高,反事实思维越容易改变,情绪反应也越强烈。在实验程序中,由于“做”与“不做”均导致决策正确,这个事件与标准具有相似性,标准性越高,可变性越低,反事实思维可能不容易改变,因而情绪反应之间没有存在差异,从而导致在 FRN、P300 和 LPC 的波幅上不具有显著的差异。其次,可能在于“做”与“不做”的愉悦与“做”与“不做”的后悔在表征方式上具有差异有关。

Byrne 等认为,由于“做”与“不做”均导致决策正确,人们对此的表征更为隐蔽,“做”与“不做”在决策正确条件下在表征模型上可能并不包含外显的反事实表征模型,因而比较过程较难于发生,导致了两者之间在愉快程度上并没有差异^[28]。Feeney 等指出,虽然作为与无作为的表征具有一定的差异,但是可能“做”与“不做”在决策正确条件下,其表征包含了不明显的反事实状态,因而不容易引发反事实思维^[29]。

总之,研究发现作为效应不仅影响了 FRN、P300 等成分的波幅,同时也影响了 LPC 的波幅。

本研究完成于首都师范大学学习与认知北京市重点实验室。

参考文献

- Kahneman D, Tversky A. The psychology of preferences. *Scientific American*, 1982, 246: 160 – 173.
- Frijda N H, Krijpers P, Schure T E. Relations among emotions, appraisal and emotion action readiness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1989, 57: 212 – 228.
- Roseman I J, Antoniou A A, Jose P E. Appraisal determinants of emotions: Constructing more accurate and comprehensive theory. *Cognition and Emotion*, 1996, 10: 241 – 277.
- Camille N, Coricelli G, Sallet J, et al. . The involvement of orbitofrontal cortex in the experience of regret. *Science*, 2004, 304: 1167 – 1170.
- Coricelli G, Critchley H D, Joffily M, et al. . Regret and its avoidance: A neuroimaging study of choice behavior. *Nature Neuroscience*, 2005, 8: 1255 – 1262.
- 张慧君, 周立明, 罗跃嘉. 责任对后悔强度的影响: 来自 ERP 的证据. *心理学报*, 2009, 41(5): 454 – 463.
- Amrhein C, Muhlberger A, Paulic P, et al. . Modulation of event – related brain potentials during affective picture processing: a complement to startle reflex and skin conductance response? *International Journal of Psychophysiology*, 2004, 54: 231 – 240.
- Pollatos O, Kirsch W, Schandry R. On the relationship between interoceptive awareness, emotional experience, and brain processes. *Cognitive Brain Research*, 2005, 25: 948 – 962.
- Moser J S, Hajcak G, Bukay E, et al. . R F. Intentional modulation of emotional responding to unpleasant pictures: An ERP study. *Psychophysiology*, 2006, 43: 292 – 296.
- Holroyd C B, Hajcak G, Larsen J T. The good, the bad and the neutral: Electrophysiological responses to feedback stimuli. *Brain Research*, 2006, 105: 93 – 101.
- Nieuwenhuis S, Yeung N, Holroyd C B, et al. . Sensitivity of electrophysiological activity from medial frontal cortex to utilitarian and performance feedback. *Cerebral Cortex*, 2004, 14: 741 – 747.
- Todd R M, Lewis M D, Meusel L A, et al. . The time course of social – emotional processing in early childhood: ERP responses to facial affect and personal familiarity in a Go – Nogo task. *Neuropsychologia*, 2008, 46(2): 595 – 613.
- Brosschot J F, Janssen E. Continuous monitoring of affective – autonomic response dissociation in repressors during negative emotional stimulation. *Personality and Individual Differences*, 1998, 25: 69 – 84.
- Holroyd C B, Coles M G H. The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error – related negativity. *Psychological Review*, 2002, 109(4): 679 – 709.
- Nieuwenhuis S, Holroyd C B, Mol N, et al. . Reinforcement – related brain potentials from medial frontal cortex: Origins and functional significance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2004, 28: 441 – 448.
- Michalski A. The effect of accomplishment and failure on P299 potentials evoked by neutral stimuli. *Neuropsychologia*, 1999, 37: 413 – 420.
- Keil A, Bradley M M, Hauk O, et al. . Large – scale neural correlates of affective picture processing. *Psychophysiology*, 2002, 39: 641 – 649.
- Ito T A, Cacioppo J T. Electrophysiological evidence of implicit and explicit categorization processes. *Journal of Experimental Social Psychology*, 2000, 36: 660 – 676.
- 买晓琴. 复杂认知活动中结果评价的神经机制. 博士学位论文. 北京: 中国科学院心理学研究所, 2004.
- Bernat E, Bunce S, Shevrin H. Event – related brain potentials differentiate positive and negative mood adjectives during both supraliminal and subliminal visual processing. *International Journal of Psychophysiology*, 2001, 42(1): 11 – 34.
- Cuthbert B N, Schupp H T, Bradley M M, et al. . Brain potentials in affective picture processing: Covariation with autonomic arousal and affective report. *Biology Psychology*, 2000, 52: 95 – 111.
- Schupp H T, Junghöfer M, Weike A I, et al. . The selective

- processing of briefly presented affective pictures: An ERP analysis. *Psychophysiology*, 2004, 41(3) : 441 – 449.
- 23 Anokhin A P, Golosheykin S, Sirevaag E, et al. . Rapid discrimination of visual scene content in the human brain. *Brain Research*, 2006, 1093(1) : 167 – 177.
- 24 Miltner W H R, Trippe R H, Krieschel S, et al. . Event – related brain potentials and affective responses to threat in spider/snake – phobic and non – phobic subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 2005, 57: 43 – 52.
- 25 Zysset S, Huber O, Samson A, et al. . Functional specialization within the anterior medial prefrontal cortex: A functional magnetic resonance imaging study with human subjects. *Neuroscience Letter*, 2003, 335(3) : 183 – 186.
- 26 Macrae C N, Moran J M, Heatherton T F, et al. . Medical prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex*, 2004, 14(6) : 647 – 654.
- 27 Kahneman D, Miller D T. Norm theory: Comparing reality to its alternatives. *Psychological Review*, 1986, 93: 136 – 153.
- 28 Byrne R M J. Mental models and counterfactual thoughts about what might have been. *Trends in Cognitive Sciences*, 2002, 6(10) : 426 – 431.
- 29 Feeney A, Handley S J. Comparisons, mental models, and the action effect in judgments of regret. *Memory & Cognition*, 2006, 34(7) : 1422 – 1430.