

后悔的认知机制和神经基础*

索 涛 冯廷勇 王会丽 李 红

(认知与人格教育部重点实验室(西南大学), 西南大学心理学院, 重庆 400715)

摘 要 后悔是基于对不利或相对不利行为结果的反事实思维诱发的一种复杂的负性社会情绪, 对我们日常生活的决策和身心健康具有重大的影响。与失望情绪相比, 后悔在现象学、产生条件以及评价方式等方面具有明显的差异。后悔不仅会受到个体的行为方式、人格特征、归因等因素的影响, 而且还会受到结果信息属性的影响。后悔的预期和体验涉及的功能性脑区主要包括: 眶额皮层、扣带前回、海马、杏仁核。研究后悔的实验方法和技术手段有待于进一步拓展, 后悔的认知机制和神经基础还有待于进一步探讨和完善。

关键词 后悔; 失望; 认知机制; 神经基础; 眶额皮层

分类号 B842; B845

1 关于后悔

当人们由于自己的小小疏忽而酿成大错或决策失误错失良机时, 往往会捶胸顿足, 后悔万分。后悔是一种基于认知判断而诱发的高级社会情绪(徐晓坤, 周晓林, 2005), 在日常决策推理和社会学习中扮演着重要的角色。同时, 后悔也是一种常见的情绪体验。据心理学家统计, 它是人们在日常生活中体验到的第二种常见情绪(Shimanoff, 1984)。长时间沉浸于后悔之中会影响着我们的心情和身心健康, 给我们的生活工作学习造成巨大的压力(卿素兰, 2005)。

虽然后悔作为一种普遍的心理现象, 但对后悔的真正研究却源于经济学领域。在行为经济学中, 经典的后悔理论(regret theory)(Bell, 1982; Loom & Sugden, 1982)认为, 后悔作为一种特殊的情绪在经济决策中起着重要的作用, 尤其人们为了尽可能避免当前的抉择可能引起的后悔(后悔预期, regret anticipation), 总是使自己的行为决策趋于保守。经济学家 Bell (1982) 和 Loomes 与 Sugden (1982) 把后悔定义为人们由于决策后实际获得的结果(what is)与其他更好的替代结果(what might have been)在价值上的差异诱发的负性情绪反应。这个操作定义在现今行为经济学和神经经济学研究中得到广泛的应用。

在心理学界, 研究者们也对后悔做了大量的研究, 并对它下了各种各样的定义。在这些众多定义中, Landman 和 Zeelenberg 的定义最流行。Landman (1993)把后悔定义为是一种对自己或他人的不幸、局限、损失、罪过、不足、犯错由于遗憾而或多或少令人痛苦的认知和情绪状态。这个定义看起来似乎与我们生活体验颇为吻合, 但它包含的方面又似乎太广, 未反映出后悔的真正实质。相对而言, Zeelenberg (1996)的定义比较全面合理, 认为当个体认识到或者想象出如果先前采取其他行为, 其结果会更好时, 后悔情绪就会产生。在这里他特意强调了后悔产生的两种不同的情况: 一种是个体了解到采取其他行为的结果; 而另一种则是个体想象推测出其他行为的结果。

尽管对后悔的定义有所不同, 但随着 20 世纪 80 年代以来心理学界对反事实思维(Counterfactual thinking)的研究深入(Kahneman, 1986; Byrne, 2002), 人们已经有一个普遍的共识: 后悔是一种基于认知的情绪, 更确切地说, 后悔是基于对不利或相对不利行为结果的反事实思维而引起的一种复杂的负性情绪(Kahneman, 1986; Rose, 1995; Byrne, 2002)。

2 后悔的认知机制

2.1 后悔与失望的差异

要了解后悔的认知机制, 在这里很有必要阐述一下后悔和失望的差异, 因为失望是一种与后悔非常相似且难以区分的情绪。例如, 面对同样的差一点就及格的考试成绩, 有的人会感到后悔, 有的

收稿日期: 2008-09-27

* 国家自然科学基金项目(30770727)和国家自然科学基金青年项目(30800292)。

通讯作者: 李红, E-mail: lihong@swu.edu.cn

人会感到失望,因此许多人常把二者混为一谈。实际上,尽管后悔和失望有许多共同之处——都和风险决策的不确定性结果相关,且都源于已获得结果和预期结果的对比,但是后悔和失望的确是基于不同认知的两种情绪,搞清二者的差异有助于更好地了解后悔的认知机制。在这里我们从现象学、产生条件以及评价方式等三个角度加以区分。

首先,后悔和失望的差异在于现象学上的不同。体验它们时会产生不同行为表现和心理表现。在 Zeelenberg 等人 (1998a) 的一项实验中,让参与者回忆一件非常后悔或失望的事例,同时体验这一情绪时感觉如何,想法是什么,想做什么,做了什么,想要什么。结果发现,二者的情绪体验差异主要表现在五个方面:感受 (feelings),想法 (thoughts),行为趋向 (action tendencies),行为 (actions) 和动机目标 (motivational goals)。其中差异最大的成分是行为趋向 (体验情绪时最想做什么) 和动机 (明确的情绪动机和动机目标)。这些发现表明后悔与失望的差异表现在:人们在后悔时会感到自己本应更好地了解行为,应充分考虑犯错误的可能性,更加懊恨自己 (恨不得踢自己一脚),赶紧纠正自己的错误,更想赶紧逆转当前不利形势,再得到一次机会;而在失望时会感到无可奈何,什么也做不了,赶紧逃避现实,从当前情形转移注意力,什么也不想做。

其次,后悔和失望的差异在于它们的产生条件不同。尽管它们的产生都是由决策导致的不利结果诱发的,但是后悔是由实际结果和另一个自己未选的实际存在 (或想象存在) 的更好结果对比产生的反事实思维引起的,而失望是由于个体决策后的实际结果与预期不符而导致的。后悔强调不同选择间的比较,而失望强调同一选择内引起的不同结果的对比。另外,已有大量的研究 (Camille, 2004; Coricelli, 2005) 表明,反馈结果的信息不同也会引起不同性质的情感体验,在当个体仅仅了解自己所选择的结果而对其他可能的选择结果一无所知时更多会产生失望的情绪;而当个体不仅了解自己实际选择的结果而且也知道其他可选择但没有选择的更好结果时更多会产生后悔的情绪。

Zeelenberg 等人 (1998b) 也把责任感 (responsibility) 作为后悔的产生区别与失望一个条件。他们的研究表明,后悔更和自我原因 (self-agency) 相关,而失望更和他人或环境因素 (other-agency) 相关。当自己认为不利事件由自我原因造

成时,往往会感到后悔;当自己认为不利事件是未预料的,由不可控的他人或环境因素造成时,往往会感到失望。甚至还有研究 (Sugden, 1985; Connolly, 1997) 认为责任感是后悔体验与预期的核心成分,后悔的产生不仅依赖于两种结果 (实际结果与想象推测的结果) 的对比,也依赖于自己对行为的责任感。另外,这些研究还强调,后悔的强烈程度也依赖于自己对最初决定的自责程度。Gilovich 等人 (1994) 让人们回忆他们最后悔的事情,不到 5% 的后悔事情是由于他们对当时的情势失控造成的,就是说,大多数导致后悔的情境是可控的,认为自己对此有责任,而情境不可控时很难产生后悔。

最后,后悔和失望不同之处在于评价方式不同。van Dijk 等人 (1998) 在一项实验中要求被试描述曾经发生的非常后悔或失望的事件,接着要求他们从 8 个维度 (Roseman, 1996) 报告对当时形势的评价,结果表明,其中后悔和失望在 5 个维度有明显的差异。失望在出乎意料、动机状态、合理性、环境作用等因素维度的得分较高,而后悔在控制潜在性、自我控制作用等维度得分较高。

总之,从以上的行为研究中我们看到,后悔很可能是基于自身行为导致不利结果诱发的上行反事实思维的产物。后悔产生必备这样的条件:(1) 个体具有反事实思维或假设推理的能力;(2) 实际行为结果与实际的或想象推测的另一行为结果相比不好;(3) 个体感到应对自身行为的结果负有一定的责任。

2.2 影响后悔的因素

大量的行为研究和生活的事例表明,人们体验到后悔受诸多因素的影响。它不仅受反馈结果本身信息属性 (重要程度、数量大小、概率、部分反馈还是完全反馈等),个体因素 (内控-外控人格、成就动机、风险偏好等),个体对行为结果的归因 (内-外归因),而且还受人们行为方式 (做-不做,主动-被动) 的影响,其中已有大量的研究都集中在决策行为中个体行为方式对后悔强度的影响。

最早对影响后悔的因素进行研究是 Kahneman 和 Tversky (1982),他们首先提出这样的问题:对同样不利的决策结果,人们体验到的由“做 (action)”导致的后悔与由“不做 (inaction)”导致的后悔,哪一类后悔程度更强? 调查结果显示前者比后者明显更强。Kahneman 和 Tversky 把这种现象称之为后悔的“做效应 (action effect)”。

随后大量的行为研究 (Landman, 1987; Zeelenberg, 2000; Gilovich, 2003; Zhang, 2004; Li, 2007; 张结海, 2003, 2004) 验证了这一结论, 其中, Landman (1987), Zeelenberg (2000) 等人的研究结果进一步表明, 这种所谓的“做效应”不仅适应于由决策产生的不利结果产生的负性情感体验上, 而且同样适应于有利结果产生的正性情感体验上。Landman 和 Zeelenberg 认为这一现象可能与归因过程相关, “做 (action)” 导致的结果更可能更多地归因于自身的责任 (responsibility), 所以引起的情感反应更强。但是也有一些研究 (Gilovich, 1995; 2003) 对此持有异议, 认为后悔的“做效应”有一个时间模式: 短期内由 action 比 inaction 引起的后悔程度大, 而长期内则恰恰相反。还有, Feldman 等人 (1999) 认为现实生活中的后悔受诸多因素的影响, 而在实验室研究中这些影响因素被消除了, 而且现实生活中的“action”和“inaction”产生的结果一般并不会相同, 所以实验室的结论未必适应现实生活中真实决策情景, 换句话说, 以上的研究的生态效度不够强。Zeelenberg 等人 (2002) 也认为以前的研究集中于单一孤立的决策中忽略了情境性对决策后情感体验的影响。

最近, 我国心理学者 Li 等人的研究 (2007) 发现, 实际结果接近意愿结果的程度 (closeness) 调节着后悔的程度, 他认为, 在以前的有关后悔的“action effect”研究中, 在 action 和 inaction 两个维度下实际结果与意愿结果的接近程度相同, 实际二者的接近程度 (closeness) 调节着后悔体验的强烈程度。当实际结果越接近一个好的结果但没有得到时, 后悔程度更加强烈; 而当实际结果远离意愿结果时, 后悔强度减弱。Rose (1997) 认为, 接近性实际上指的是个体对已发生事件的结果与在心理上的理想结果或期待结果之间差距的接近程度。接近性可以指时间 (如分别差 5 分钟和 30 分钟错过航班)、空间 (如士兵在离战壕 1 米而不是 50 米的地方牺牲) 和数字 (如作为商店的第 999 位客人而第 1000 位客人就能获得一份奖品) 三方面。一般而言, 事实与自己所期望得到结果之间越接近, 则产生的反事实思维的强度就会越强, 所体验的情绪反应也会更强烈。Myer-Levy 和 Msheswaran (1992) 要求被试阅读一篇叙述某人因为忘记续投保险而 3 天后或 6 个月后家中发生火灾的材料。结果表明, 看到 3 天后发生火灾的被试更容易产生反事实思维从而

更后悔; Medvec 等人 (1995) 发现在奥运会上获得银牌和第 4 名的人情绪更糟糕。因为他们分别差点就可以获金牌和铜牌了, 离他们想要得到的结果很接近但却没有得到, 因此情绪体验会更糟糕。

3 后悔的脑神经基础

近年来, 随着神经成像技术的快速发展, 我们开始对后悔产生的脑机制和神经基础逐渐有所了解。已有研究 (Camille, 2004; Coricelli, 2005, 2007) 表明后悔情绪的体验和预期可能与大脑的眶额叶皮层 (Orbitofrontal cortex, OFC)、扣带回 (Anterior cingulate cortex, ACC)、海马 (Hippocampus) 杏仁核 (Amygdala) 等区域活动相关。

3.1 后悔的脑损伤研究

对后悔的神经机制的研究起源于 Camille 等人 (2004) 的脑损伤研究。他们在实验中研究了正常人和眶额皮层 (OFC) 受损的病人的决策和情绪的关系。实验任务是要求被试在概率 (0.2, 0.5, 0.8) 和预期 (50, -50, 200, -200) 都不同的两个赌注选项中做出选择。通过是否向被试提供未选项的结果的信息 (完全反馈和部分反馈) 诱发其产生不同的情绪体验 (后悔, 失望, 庆幸, 高兴), 并让被试用情感量表评定其情绪状态。结果表明, 在正常被试组, 不仅实际选项的输赢及其输赢大小会影响其情绪体验, 且未选项输赢也会调节着他们的情绪。例如, 当已选项输钱 (-50) 而舍弃的未选项赢钱 (50 或 200) 时会诱发出比仅仅只知道已选项输钱时更加强烈的负性情绪, 即使当已选项赢得 50 元而未选项赢得 200 元时也会诱发强烈的负性情绪。与此相反, OFC 受损的病人情绪状态仅仅被赢输及其数量多少所调节, 而不被未选项结果所影响。更确切地说, 他们不能体验到后悔情绪, 这表现在他们固执地选择那些由于更可能令人后悔因而正常人会竭力回避的赌注。所以, 他们不能像正常人那样把体验到的后悔整合到行为决策过程中, 而是仅仅基于实际的情景做出判断决策, 赢时高兴, 输时难过失望。OFC 受损的病人不能像正常人那样体验到后悔情绪, 这表明他们并不具有能够感知体验那些左右决策的高级情绪的能力。值得强调的是, OFC 受损病人的情绪反应并不迟钝, 他们的失望情绪水平和正常人一样, 甚至对社会情境中不公平事件的愤怒水平比正常人更高 (Koenigs, 2007)。这说明后悔和失望具有不同的神经通路和心理机制。

总之, 这个研究的一个重要的行为观测结论是:

OFC 病人不能体验到后悔情绪,不能预期到他们的决策可能会产生潜在的情绪反应。眶额皮层很可能在后悔体验和预期的过程中扮演着关键的角色。同时 Camille (2004) 和 Coricelli 等人 (2007) 认为眶额皮层通过像反事实思维 (Counterfactual thinking) 这样的认知机制对情绪体验进行自上而下 (top-down) 的调控,整合决策过程中的认知和情绪成分,它的受损导致大脑不能产生像后悔这样在调节个体适应社会行为上发挥着重要的作用的特殊情绪。

3.2 后悔的脑成像研究

随后, Coricelli 等人 (2005) 采用 Camille 的实验范式,利用功能核磁共振成像 (fMRI) 设备进一步研究了简单赌博任务引起后悔和失望时的相关脑区域活动。脑成像结果显示,后悔情绪的体验与腹内侧眶额皮层 (mOFC)、扣带回皮层前部 (ACC) 以及海马前部 (AH) 增强活动密切相关。同时行为结果表明,被试在重复决策中后悔规避次数会随实验进程逐渐增加,这一累计效应现象表现在腹内侧眶额皮层和杏仁核 (Amygdala) 的活动加强。另外,在这个实验情境下,伴随有后悔体验的脑区域活动恰恰在选择之前也有所表现,这表明决策后的后悔体验和决策前的后悔预期由同一的神经环路所调节。同时这个研究也发现,失望情绪的增强与颞中回 (middle temporal gyrus), 脑干背侧 (dorsal brainstem) (包括大脑脉管周围的灰质) 的活动增强有关,需要说明的是脑干背侧这一区域涉及到像疼痛这样的厌恶信号的加工 (Peyron, 2000)。后悔和失望的神经解剖回路的分离进一步证实了它们是两种不同的复杂社会情绪。以下详述后悔涉及的脑区及各自在后悔情绪体验和预期中的作用。

3.2.1 眶额皮层 (OFC)

已有研究 (Rolls, 2000; Berns, 2001; Breiter, 2001; Gottfried, 2003) 认为 OFC 腹侧活动反映了奖赏获得,而 OFC 背侧的活动和转换学习相关,转换学习中主体需要改变不利的行为策略 (Elliott, 2000; Fellows, 2003; Hornak, 2004)。这已经被解释为 OFC 腹侧可能支撑正性情绪,而 OFC 背侧可能支撑负性情绪。然而,其他的神经成像研究强调了 OFC 在强化表征中更复杂的作用,这也被脑损伤研究数据 (Bechara, 2000) 所证明。类似地, OFC 内侧损伤并没有损伤初级奖赏的加工,但是好似影响了相对奖赏的识别,这种相对奖赏识别的产生包括预期评价和反事实评价。另外, Coricelli 等人 (2005) 的

研究表明,像反事实思维这样的认知背景调控着奖赏和惩罚时 OFC 的活动。这些发现显示, OFC 在决策中扮演着远比“OFC 的内外侧哪一部分主司奖赏哪一部分主司惩罚”更复杂的角色。

Bechara 等人 (2000) 认为 OFC 的功能仅仅局限在决策的预期阶段。Breiter (2001) 等人的研究发现,当主体对决策进行风险预期然后下定决心期间,不同奖赏水平之间的对比衡量增强了 OFC 的活动。而 Coricelli 等人 (2005) 发现,决策失利后,主体在体验后悔阶段和未来进一步做出决策之前 (预期后悔) 阶段, OFC 活动都会明显加强。这说明 OFC 在决策的每一阶段都起着重要的作用,它可能整合了来自背外侧前额叶 (dorsolateral prefrontal regions) 的认知成分和来自包括杏仁核在内对情绪加工意义重大的边缘系统 (limbic areas) 的情绪成分,调节着决策行为,例如,在反事实思维加工下会产生高级情绪一后悔。OFC 通过对决策中起主要决定因素的情感评价进行归因,从而对奖赏信息进行加工和操纵。通过和其他脑区域相互作用,比如 Amygdala, OFC 会利用这些脑区提供的反馈结果的最新评价表征来调节自身的行为反应。

3.2.2 海马 (Hippocampus) 和杏仁核 (Amygdala)

如果说 OFC 在后悔体验和预期中发挥着核心的作用,那么海马和杏仁核的激活进一步印证了后悔是基于陈述性认知加工的一种情绪 (Eichenbaum, 2004) 这一观点。大量的研究已经证实海马和杏仁核在情绪性记忆的编码、储存和提取阶段都起着关键作用 (Dalgleish, 2004; Phelps, 2004; Shrager, 2007; Richardson, 2004; Dolcos, 2004, 2005; Anderson, 2006; Greenberg, 2005)。Coricelli 等人 (2005, 2007) 也认为后悔体验时海马的活动支持了陈述性记忆对情绪体验的调控。而后悔预期时杏仁核的活动则是激活了后悔厌恶的情绪性记忆,这些情绪性记忆会调节着决策行为。譬如,以前的决策证明是不好时,以后应吸取教训:面对同样的情境时,情绪性记忆会提醒个体“吃一堑长一智”,会使个体的行为趋向于保守。

3.2.3 扣带回前 (ACC)

关于扣带回前 (ACC),已有大量的脑成像文献证明扣带回背侧 (ACC) 在反应监控、错误觉察、认知冲突、工作记忆以及伴随的情绪唤醒中起着重要作用 (Carter, 1999; Garavan, 2002; Kerns, 2004; Phan, 2003; Botvinick, 2004; Critchley, 2003, 2005;

Clark, 2004; Davis, 2005; Wang, 2005)。当个体进行行为决策时, 往往要么面对潜在后悔风险最大化预期, 要么以降低预期为代价最小化潜在后悔, 这样不可避免地会产生认知冲突。因此, 个体在决策期间产生的认知冲突必然会激活 ACC。而在后悔体验期间, ACC 的激活很可能是由于实际结果与其他更好的可替代结果冲突引起的。

总之, 基于以上的研究, OFC 可能调节着认知冲突并缓解伴随的基本负性情绪(痛苦), 从而引起像反事实思维这样的高级认知, 同时诱发像后悔这样特殊情绪。所以, 从某种程度上讲, 后悔也是人们在感到对不利结果负责时缓解失控感增强自信自控时的产物。这样的负性社会情绪有助于人们在未来的决策中促成特殊的认知控制机制(后悔预期回避), 使人们变得更加理性, 从而更好地调节、增强人们的行为决策和社会适应能力。

4 总结与展望

后悔作为与人们日常生活朝夕相伴的复杂的社会情绪, 了解它有助于我们更好地决策和适应社会, 有助于更好地展开博弈理论和人工智能的研究(Cohen, 2008; Marchiori, 2008), 有助于更好地调节自身的情绪状态保持身心健康。尽管行为经济学家和心理学家以及认知神经科学家们关于后悔做了大量的研究工作, 对它的认知和神经机制也有了一定的了解, 但在以下几个方面的研究还需要未来进一步完善和发展。

首先, 后悔的认知机制还有待于进一步探讨。虽然以前的大量行为研究使人们对后悔的认知机制有了一定程度的了解, 但这些研究大都局限于决策的范畴之中, 而在现实生活中它和社会文化如何相互作用相互影响我们还知之甚少, 比如, 有的人考了 59 分为什么后悔, 而有的人考取同样的分数为什么不后悔? 这样的差异或许与个人所处的社会背景有关。

其次, 关于影响后悔因素的研究才刚刚开始。尽管对后悔程度的研究二十多年前就已提出, 但现有的研究大多都基本集中于它的“action effect”研究, 并且大多数研究的方法都采用虚拟情景故事法, 情景回溯法等, 这些研究方法的主观性比较强, 生态效度都不太高, 以致于研究的信度和效度大打折扣。因此, 很有必要采用新的实验技术(比如事件相关电位、功能脑成像)给实验提供一个较客观的记录指标, 很有必要采用新的实验范式(比如赌博

任务范式)给参与者提供一个较真实的任务环境。

本文还认为影响后悔的因素除了个体的行为方式之外还有以下几个方面有待探讨:(1) 个体的人格(内控-外控者)。已有研究一定程度表明人们体验后悔时通常很少具有失控感, 而体验失望时具有明显的无奈失控感(Gilovich, 1994)。在生活中我们会看到有的人容易后悔, 甚至为鸡毛蒜皮的事也耿耿于怀, 懊悔不已, 而有的人对任何做错的事很少表现出后悔的情绪。这意味着个体的人格很可能影响着后悔的产生和体验。(2) 个体对行为结果的责任感。尽管已有相当研究认为个体的责任感与后悔密切相关, 甚至有人认为责任感是后悔产生的核心因素(Sugden, 1985; Zeelenberg, 1998, 2000), 但二者之间究竟有什么关系还存在争议, 有待采用更先进的研究手段加以解决。(3) 其他因素。除了反馈结果的方式(部分反馈还完全反馈)之外, 结果对个体的重要性, 行为可供选项的个数(唯一的选项还是多个选项), 机会的次数(一次还是多次), 机会的可逆性等等因素都可能影响着后悔, 这些因素也需要系统地研究。

最后, 尽管已有研究开始运用脑成像(fMRI)这样先进的技术手段对后悔的脑神经机制进行了初步研究(Coricelli, 2005), 也知道了与后悔产生和预期相关的脑区域(mOFC, ACC, AH), 但这方面的研究才刚刚开始, 从现有的文献数量(仅有一篇)可以看到。另外, 关于后悔情绪的 ERP 研究还没有看到, 这方面的研究也应该展开。以上所有的问题也是我们今后所研究的方向。

致谢: 非常感谢两位匿名审稿专家的富有建设性意见, 也感谢袁加锦、何媛媛、梁静等人对本文提出宝贵的意见。

参考文献

- 卿素兰, 罗杰. (2005). 大学生后悔心理调查. *中国临床心理学杂志*, 19, 810-815.
- 徐晓坤, 王玲玲, 钱星, 王晶晶, 周晓林. (2005). 社会情绪的神经基础. *心理科学进展*, 13, 517-524.
- 张结海. (2003). 后悔的“状态改变-状态继续”效应: 一个概念框架. *心理学报*, 35, 701-710.
- 张结海, 朱正才. (2004). “状态改变-状态继续”与“做-不做”. *心理科学*, 27, 392-394.
- Anderson, A. K., Wais, P. E., & Gabrieli, J. D. E. (2006). Emotion enhances remembrance of neutral events past. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 1599-1604.
- Bechara, A., Tranel, D. & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial

- prefrontal cortex lesions. *Brain*, 123, 2189–2202.
- Bell, D. E. (1982). Regret in decision making under certainty. *Operations Research*, 30, 961–981.
- Berns, G. S., McClure, S. M., Pagnoni, G., & Montague, P. R. (2001). Predictability modulates human brain response to reward. *Journal of Neuroscience*, 21, 2793–2798.
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., & Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Science*, 8, 539–546.
- Breiter, H. C., Aharon, I., Kahneman, D., Dale, A., & Shizgal, P. (2001). Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses. *Neuron*, 30, 619–639.
- Byrne, R. M. (2002). Mental models and counterfactual thoughts about what might have been. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 426–431.
- Camille, N., Coricelli, G., Sallet, J., Pradat-Diehl, P., Duhamel, J., & Sirigu, A. (2004). The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret. *Science*, 304, 1167–1170.
- Carter, C. S., Botvinick, M. M., & Cohen, J. D. (1999). The contribution of the anterior cingulate cortex to executive processes in cognition. *Reviews in the Neurosciences*, 10, 49–57.
- Clark, L., Cools, R., & Robbins, T. W. (2004). The neuropsychology of ventral prefrontal cortex: decision-making and reversal learning. *Brain and Cognition*, 55, 41–53.
- Cohen, M. D. (2008). Learning with regret. *Science*, 319, 1052–1053.
- 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, 1255–1262.
- Coricelli, G., Dolan, R. J., & Sirigu, A. (2007). Brain, emotion and decision making: The example of regret. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 258–265.
- Critchley, H. D., Mathias, C. J., Josephs, O., O’Doherty, J., Zanini, S., Dewar, B.-K., et al. (2003). Human cingulate cortex and autonomic control: converging neuroimaging and clinical evidence. *Brain*, 126, 2139–2152.
- Critchley, H. D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O’Doherty, J., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *Neuroimage*, 24, 751–762.
- Dalgleish, T. (2004). The emotional brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 582–589.
- Eichenbaum, H. (2004). Hippocampus: cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory. *Neuron*, 44, 109–120.
- Davis, K. D., Taylor, K. S., Hutchison, W. D., Dostrovsky, J. O., McAndrews, M. P., Richter, E. O., et al. (2005). Human anterior cingulate cortex neurons encode cognitive and emotional demands. *Journal of Neuroscience*, 25, 8402–8406.
- Dolcos, F., LaBar, K. S., & Cabeza, R. (2004). Interaction between the amygdala and the medial temporal lobe memory system predicts better memory for emotional events. *Neuron*, 42, 855–863.
- Dolcos, F., LaBar, K. S., & Cabeza, R. (2005). Remembering one year later: Role of the amygdala and the medial temporal lobe memory system in retrieving emotional memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 2626–2631.
- Elliott, R., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2000). Dissociable functions in the medial and lateral orbitofrontal cortex: evidence from human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, 10, 308–317.
- Feldman, J., Miyamoto, J., & Loftus, E. F. (1999). Are actions regretted more than inactions? *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 78, 232–255.
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2003). Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: Evidence from a reversal learning paradigm. *Brain*, 126, 1830–1837.
- 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, 1820–1829.
- Gilovich, T., & Medvec, V. H. (1994). The temporal pattern to the experience of regret. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67, 357–365.
- Gilovich, T., & Medvec, V. H. (1995). The experience of regret: What, when, and why. *Psychological Review*, 102, 379–395.
- Gilovich, T., Wang, R. F., Regan, D., & Nishina, S. (2003). Regrets of action and inaction across cultures. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 34, 61–71.
- Gottfried, J. A., O’Doherty, J., & Dolan, R. J. (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal cortex. *Science*, 301, 1104–1107.
- Greenberg, D. L., Rice, H. J., Cooper, J. J., Cabeza, R., Rubin, D. C., & LaBar, K. L. (2005). Co-activation of the amygdala, hippocampus and inferior frontal gyrus during autobiographical memory retrieval. *Neuropsychologia*, 43, 659–674.
- Hornak, J., O’Doherty, J., Bramham, J., Rolls, E. T., Morris, R. G., Bullock, P. R., & Polkey, C. E. (2004). Reward-related reversal learning after surgical excisions in orbito-frontal or dorsolateral prefrontal cortex in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 463–478.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1982). The psychology of preferences. *Scientific American*, 246, 136–142.
- Kerns, J. G., Cohen, J. D., MacDonald, A. W., Cho, R. Y., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2004). Anterior cingulate conflict monitoring and adjustments in control. *Science*, 303, 1023–1026.
- Koenigs, M., & Tranel, D. (2007). Irrational economic decision-making after ventromedial prefrontal damage: evidence from the Ultimatum Game. *Journal of Neuroscience*, 27, 951–956.
- Landman, J. (1987). Regret and elation following action and inaction: Affective responses to positive versus negative outcomes. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 13, 524–536.
- Landman, J. (1993). *Regret: Persistence of the possible*. New York: Oxford University Press.
- Li, S., & Liang, Z. Y. (2007). Action/inaction and regret: The moderating effect of closeness. *Journal of Applied Social*

- Psychology*, 37, 807–821.
- Loomes, G., & Sugden, R. (1982). Regret Theory: An alternative theory of rational choice under uncertainty. *Economic Journal*, 92, 805–824.
- Marchiori, D., & Warglien, M. (2008). Predicting human interactive learning by regret-driven neural networks. *Science*, 319, 1111–1113.
- Medvec, V. H., Madey, S. F., & Gilovich, T. (1995). When less is more: Counterfactual thinking and satisfaction among Olympic medalists. *Journal of Personality and Social Psychology*, 69, 603–610.
- Meyers-Levy, J., & Maheswaran, D. (1992). When timing matters: The influence of temporal distance on consumers' affective and persuasive responses. *Journal of Consumer Research*, 19, 424–433.
- Peyron, R., Laurent, B., & Garcia-Larrea, L. (2000). Functional imaging of brain responses to pain: A review and meta-analysis. *Neurophysiologie clinique-clinical neurophysiology*, 30, 263–288.
- Phan, K. L., Liberzon, I., Welsh, R. C., Britton, J. C., & Taylor, S. F. (2003). Habituation of rostral anterior cingulate cortex to repeated emotionally salient pictures. *Neuropsychopharmacology*, 28, 1344–1350.
- Phelps, E. A. (2004). Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 198–202.
- Richardson, M. P., Strange, B. A., & Dolan, R. J. (2004). Encoding of emotional memories depends on amygdala and hippocampus and their interactions. *Nature Neuroscience*, 7, 278–285.
- Roese, N. J., & Olson, J. M. (Eds.) (1995). *What might have been: The social psychology of counterfactual thinking*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Roese, N. J. (1997). Counterfactual thinking. *Psychological Bulletin*, 121, 133–148.
- Roseman, I. J., Antoniou, A. A., & Jose, P. E. (1996). Appraisal determinants of emotions: Constructing a more accurate and comprehensive theory. *Cognition and Emotion*, 10, 241–277.
- Rolls, E. T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral Cortex*, 10, 284–294.
- Shimanoff, B. (1984). Commonly named emotions in everyday conversations. *Perceptual and Motor Skills*, 58, 498–514.
- Shrager, Y., Bayley, P. J., Bontempi, B., Hopkins, R. O., & Squire, L. R. (2007). Spatial memory and the human hippocampus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 2961–2966.
- Sugden, R. (1985). Regret, recrimination and rationality. *Theory and Decision* 19, 77–99.
- van Dijk, W. W., van der Pligt, J., & Zeelenberg, M. (1998). *Different or the same? Outcome related disappointment*. In A.H. Fischer (Eds.), Proceedings of the Xth Conference on the International Society for Research on Emotions (pp. 162–165). Amsterdam: ISRE.
- 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, 604–613.
- Zeelenberg, M. (1996). *On the importance of what might have been: Psychological perspectives on regret and decision making*. Ph.D. dissertation, University of Amsterdam.
- Zeelenberg, M., van Dijk, W. W., Manstead, A. S. R., & van der Pligt, J. (1998a). The experience of regret and disappointment. *Cognition and Emotion*, 12, 221–230.
- Zeelenberg, M., van Dijk, W. W., & Manstead, A. S. R. (1998b). Reconsidering the relation between regret and responsibility. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 74, 254–272.
- Zeelenberg, M., Van der Pligt, J., & De Vries, N. K. (2000). Attributions of responsibility and affective reactions to decision outcomes. *Acta Psychologica*, 104, 303–315.
- Zeelenberg, M., van den Bos, K., van Dijk, E., & Pieters, R. (2002). The inaction effect in the psychology of regret. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82, 314–327.
- Zhang, J. H., Walsh, C., & Bonnefon, J. F. (2004). Between-subject or within-subject measures of regret: Dilemma and solution. *Journal of Experimental Social Psychology*, 41, 559–566.

Cognitive Mechanism and Neural Substrate of Regret

SUO Tao; FENG Ting-Yong; WANG Hui-Li; LI Hong

(Key Laboratory of Cognition and Personality, Ministry of Education(SWU), School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Regret is a complex negative social emotion whose generation depends on counterfactual thinking to the better outcomes provided by the alternative choice. It influences decision-making, and has important impacts on people's physical and mental health in everyday life. Compared with disappointment, regret is different with respect to its phenomenology, the prerequisites of generation as well as the subsequent appraisals. Regret is affected by individual's behavioral manners, personality, attribution as well as information of behavioral outcomes. Functional brain areas involved in expectancy and experience of regret mainly include Orbitofrontal cortex, Anterior cingulate, Hippocampus, Amygdala. The experimental approaches and technological measures need to be improved in further studies of regret. Meanwhile, the cognitive mechanism and neural substrate of regret remain to be further explored in future.

Key words: regret; disappointment; cognitive mechanism; neural substrate; orbitofrontal cortex