

后悔的认知神经科学研究*

张慧君¹ 朱湘茹¹ 罗跃嘉^{1,2@}

(¹ 认知神经科学与学习国家重点实验室 (北京师范大学), 北京 100875

² 中国科学院心理健康重点实验室, 北京 100101 @ 通信作者 Email: luoyj@bnu.edu.cn)

【关键词】 社会性情绪; 后悔; 认知神经科学; 眶额皮层

doi: 10.3969/j.issn.1000-6729.2009.01.018

中图分类号: B842.1, B845.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6729 (2009) 001-0068-05

1 引言

后悔理论^[1-2]认为, 后悔是一种当我们认识到或是想象自己如果做出了不同的决定, 自己目前的状况本应会更好时的情绪。后悔是一种在决策过程中产生的情绪, 也影响着之后的决策^[3-5]。研究后悔有助于认识情绪与决策之间的相互作用, 更好地做出决策。

后悔研究的首要问题是要将后悔与其他负性情绪, 尤其是失望情绪区分开来。但早期研究多要求对被试对虚拟情景下他人的情绪进行评估, 缺乏真实性和责任感。因此, Mellers^[4]引入赌博范式, 将被试作为后悔的主体, 以被试的主观评定分数作为指标, 通过操纵不同的反馈方式 (部分反馈和完全反馈) 形成不同的比较基点: 要求被试在两个转盘中选择其一, 转盘指针所指向的结果为被试在这轮赌博中所得的结果。在部分 (失望) 反馈条件下, 被试只可以看到自己所选转盘的输赢情况, 而不知道未选转盘的结果; 完全反馈 (后悔) 条件下, 被试可以同时看到已选转盘及未选转盘的结果。研究发现, 完全反馈条件下的情绪反应比部分反馈条件下的情绪反应更强烈, 证实了后悔是一种独立于失望的情绪。而这一范式的使用也使后悔研究摆脱了原来“隔靴抓痒”的困境, 在以后的研究中得到广泛应用^[6-7]。后悔研究的另一个主要问题是后悔对之后的决策有何影响。行为研究表明, 后悔同时也影响着决策, 体验过后悔的个体, 其决策变得更为理智和有利^[7-9]。这表明两者之间不是一种简单的因果关系, 而是一种动态的, 相互影响的过程。

纵观多年来的研究, 后悔研究在实验范式和理论

模型上都取得了很大的进展, 但同时也存在着种种问题。在理论方面, 早期的理论仅描述了后悔的情绪特性, 从现象学的角度对后悔和其他负性情绪 (例如失望) 进行区分, 但这种以现象为依据的分类也受到质疑^[10]。由于研究技术的限制, 传统的研究只关注了后悔产生的方面, 并没有探究后悔影响决策行为的机制。因为仅从行为实验的结果, 无法深入了解两者之间相互影响的过程。而近年认知神经科学的进展则为解决这些问题提供了一种新的思路和方法, 对这两个方面都有所侧重, 因此, 当前研究呈现出两个主要走向: 一是关注后悔与其他负性情绪在情绪体验以及神经机制上的差别^[6-7, 11]; 二是关注后悔与决策之间的相互影响和调控^[12]。

2 后悔产生的神经机制

行为研究只能从现象上, 以被试的主观感觉作为单一的指标, 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, 但无法解释导致它们差异的生理机制是什么, 也不能从实证的角度探究其具体的心理过程。由于情绪与生理反应之间的密切关系, 使用生理指标 (生物电、激活脑区等) 是当前情绪研究的一个新方向, 有助于认识不同情绪的心理过程和神经机制, 以及它们在这两个方面的差异。

Camille 等^[6]使用了 Mellers 范式, 以皮肤电强度和主观评定结果作为指标, 比较了正常人与眶额皮层损伤病人在后悔产生上的差别。研究发现, 正常被试在后悔条件下的皮肤电强度更大, 且信号的强度随着已选项结果与未选项结果之间差别的增大而增大; 眶

* 基金项目: 国家自然科学基金 (30670698)、教育部重点项目 (106025)、教育部创新团队项目 (IRT0710)

额皮层损伤的病人则表现出不同的模式,他们在失望条件下的强度更大,但两组被试在主观情绪评定中没有显著差异。因此,研究者认为眶额皮层损伤的病人能够在情绪生成以前对结果的输赢进行正确的编码,但在后悔产生的过程中出现障碍。而这种障碍可能是由于眶额皮层损伤的病人不能够对自己所负责任进行加工所造成的。此外,也可能涉及对负性反馈的加工、行为抑制、反事实思维^[13]这些方面。这也从另外一个角度证明了 Mellers 的范式的确可以使被试产生不同的比较基点,从而分离后悔和失望。

但是,赌博任务是以联结和逆转学习(在刺激、反应和反馈三者之间建立联结,或是破坏已有的联结,重新建立新的联结关系)为基础^[14-15],而眶额皮层与逆转学习也有着密切的关系^[16-17],所以眶额皮层损伤病人在逆转学习方面的障碍也可能是干扰实验结果的重要原因。同时,该实验范式还混淆了对结果的责任和反馈方式这两个变量,对研究结果的解释造成混淆。因此后来的研究者在使用该范式时,都对其进行了种种的改进,提高实验结果的有效性。

行为研究发现,除了比较方式,责任与后悔的产生之间也有着密切的关系^[18-19],是后悔产生的必要条件。但 Ordonez 等则认为责任对后悔没有影响^[20-21]。Coricelli^[7]等在 Mellers 范式的基础上,增加了一个实验变量:被试是否可以选赌注,并将电脑随机选择的条件作为基线,分离了责任感和是否看到未选择的结果这两个变量。结果发现,在不同条件下,被试在看到实验结果时激活的脑区以及其各自的激活强度会有所不同:与电脑随机选择的结果相比,被试在两种反馈条件下看自己所选择的结果的输赢,都会导致腹侧纹状体被激活。而被试自己选择的情况下,颞中回、中脑等脑区在部分反馈条件下被激活;外侧眶额皮层、顶下小叶、前扣带回和海马在完全反馈条件下被激活,且内侧眶额皮层的激活强度、被试的情绪自评与两个选项的结果(选择项和未选择项)之间的差值大小成正比。也就是说,外侧眶额皮层可能与负性情绪的加工有关,而内侧眶额皮层与结果评价有关(评价本来应有的结果和实际出现的结果之间的差异)。该研究较为直观地揭示了后悔产生与眶额皮层的密切关系,在一定程度上支持了后悔理论;也充分考虑了责任的影响,使人们对后悔产生过程的影响因素和机制的了解更为完善。但研究结果并未能明确完全反馈和部分反馈之间的差异仅仅是加工强度上的差异还是情绪性质上的差异,这也是目前情绪研究中的一个难点问题。因而单凭两种条件下激活脑区

的差异,只能证明眶额皮层与后悔有着密切的关系,但不能简单断定眶额皮层就是后悔产生的特异性区域。此外,这一脑区在后悔产生的神经回路中扮演了什么角色,它是影响后悔产生的核心过程,还只是影响其中的某个子过程或者相关因素?具体心理过程和神经机制的结合,是后续研究的一个重要方向。

Coricelli^[22]总结神经心理学与 fMRI 的研究后认为,除了受刺激的物理属性所驱动的输赢或对错评价以外,后悔的产生涉及两个独特的加工过程: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),其主要加工区域为眶额皮层、背侧前扣带回和杏仁核。这一模型是目前对后悔产生总结最全面的模型,但也存在以下问题:没有明确地揭示相关的认知加工与后悔产生的关系,这些认知加工之间是串行还是并行?相关脑区在回路中到底充当着什么样的角色,其相互关系又是如何?除眶额皮层外的某个脑区的损伤是否同样会导致后悔的缺失?现有的研究数据还不足以对此作出明确回答。

3 后悔影响决策的神经机制

根据先前的结果,调整之后的行为决策是人类适应性的体现。早期的效用理论^[23]、后悔理论^[2]都对此提出各自的解释,并一致认为:人们会根据选项间效用值的比较结果,调整下一次的决策行为。行为研究也普遍证实了后悔对决策的影响:个体都倾向于回避曾经给他们带来更强后悔的选项,并据此调整决策^[9, 24]。但是这些理论和研究结果都无法解释后悔对决策起作用的机制。而神经心理学的研究发现,眶额皮层损伤的病人则缺乏这种调整自己决策的能力^[6],常会做出对自己不利的决策。这一现象的原因是仅与后悔产生有关,还是在决策阶段也出现了异常?从现有的理论以及仅仅探索后悔的产生机制都无法解决,需要从神经生理的角度分析后悔对决策的影响机制。

“躯体标记假设”(somatic marker hypothesis)为此提供了较为合理的解释^[25-26],认为个体在对结果进行预期的过程中,会产生相应的情绪生理信号,影响以后的决策行为,而这种情绪标记则源于个体对以

前类似事件的情绪体验：负性情绪体验导致负性的躯体标记，对决策产生预警；正性的躯体标记则对决策产生激励，从而提高决策过程的准确性和效率，这种标记的缺乏或阻断则会降低决策的效能。而这个过程主要涉及杏仁核^[27-29]、腹内侧前额叶（包括眶额皮层）^[30-31]、背侧前扣带回^[32]等脑区。如果这些脑区受损，会使个体对负性反馈缺乏相应的生理反应，从而在调整行为时出现困难。

Coricelli 等^[7]对选择阶段的激活的脑区进行分析后也发现，被试在对选项进行选择时，与他们接受结果反馈时所激活的脑区相同，如内侧眶额皮层、右外侧眶额皮层、顶下小叶、海马以及左侧杏仁核，表明人们在决策时会重新激活以前产生的后悔的表征，使得之前所积累的经验以及情绪体验对当前的决策造成影响。电生理研究则发现，在赌博的初始阶段，被试只有在奖赏出现时才会出现较强烈的皮肤电反应，但经多次重复以后，其在选牌时也同样会出现较强的皮肤电反应^[13]。而强化学习理论则提出，ERN（error-related negativity，错误相关负波）波幅除了反映输赢大小，还反映了个体在承担风险和决策中的倾向。被试如果在新一轮中输了钱，那么在随后的反应倾向与输钱反馈时的ERN波幅呈正比。ERN波幅越大，该被试越倾向于回避随后赌博中的风险^[33]，因此，Nieuwenhuis 等^[34]推测，ERN的产生可能是一种“躯体标记”，是情绪对决策起作用的机制之一。这些研究都表明，躯体标记充当了情绪与决策之间的中介，个体通过躯体标记可以直接做出有利于自身的选择。

综合神经心理学的研究结果，可以发现脑损伤病人的加工异常不仅仅只存在于后悔的形成阶段，也存在于决策阶段。但是在各阶段异常的原因是多方面的，目前尚未得出一致的结论。躯体标记的异常可能是其中的重要因素。

4 情绪和决策的关系

目前后悔的认知神经研究仍处于一个起步阶段，无论是在后悔的形成方面，还是后悔对决策的影响方面，研究者都进行了一定的探索。目前对这两种机制比较一致的看法是：个体首先就决策后反馈的效价以及其他性质建立表征，再根据各种背景因素（相对的大小、概率）对结果进行细致地评价比较，并且产生相应的情绪；在对下一次决策的结果进行预期时，相关的生理活动使得这些情绪体验会被重新激活，产生不同的情绪信号，并影响被试的决策或使其调整自己的行为，以避免再次出现负性结果。在这个

过程中，多个脑区参与了相关的过程，主要包括：腹内侧前额叶（眶额皮层）、前扣带回（ACC）、杏仁核、海马、基底前脑。结合多项认知神经科学的研究结果，认知、情绪和行为三者的关系可以总结出以下关系式及各个加工阶段相关的脑区（见图1）。

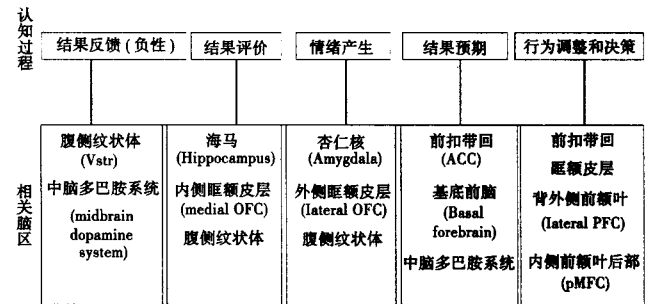


图1 认知、情绪和行为三者的关系和所涉及的脑区

某一个认知过程往往是多个脑区共同协作的结果，但目前的研究似乎还未能很好地揭示各个脑区之间的动态关系。与其他社会性情绪相似，后悔研究就理论和实验结果而言，其具体的机制和认知过程，外显的现象和内在加工机制之间的关系，还未被清楚地认识。

5 当前研究存在的问题及未来的研究方向

目前，关于后悔的认知神经方面的研究逐渐深入，并在某些方面取得了突破性的进展，但仍存在着不少问题。本文主要从以下三方面进行概括：①情绪的生理机制和心理过程未能统一。关注心理过程的研究往往只是流于对表象的描述；关注生理机制的研究则无法明确后悔是否真正被诱发。后悔的核心过程是反事实思维，但目前对此的研究还非常缺乏，这方面认知神经机制的研究尚未起步。因此，如何提取出后悔的核心因素，将其与其他负性的预期情绪（如失望、内疚等）从情绪特性和认知过程上都区分开来，是未来研究的一个重点。②对与复杂情绪相关的认知过程研究较少，关系不明确。目前的研究方法和手段更善于研究基本情绪，但对复合情绪关注较少。后悔与各种基本认知过程（强化物表征、结果评价、结果预期以及决策）密切相关，人们无法明确后悔的产生是由特定的脑区所负责的，还是仅仅是这些认知过程的一个“附属产品”，与特定的脑区无关。而这些认知加工之间的关系目前也并未明确，也没有足够的研究数据对模型的假设给予支持。③实

验范式本身存在着混淆因素。Mellers 的赌博范式涉及了金钱的得失以及逆转学习这些干扰变量,而眶额皮层、杏仁核以及背侧前扣带回等脑区也与这些任务相关。无法明确得出这些脑区的活动是与后悔的产生有关,还是由于实验范式相关的认知加工所导致的。因此,研究非金钱得失的条件是否也能诱发失望和后悔,以及其所导致的不同脑区的激活,可以帮助我们更好地了解这一问题。

因此,未来的研究方向应该集中于以下几个方面:①研究不同的认知过程以及相应的脑区之间的关系,可以通过使用具有较高时空分辨率的研究手段,探测不同的脑区在激活时程上的特点,从而建立后悔产生的神经回路模型。②对后悔的核心-反事实思维进行深入研究,明确其认知神经机制:眶额皮层、杏仁核以及背侧前扣带回等相关脑区的相互作用模式,以及它们如何影响人类的决策过程。③在明确后悔的核心性质的基础上,设计更为完善的实验范式,深入分析情绪产生的脑机制,分析不同负性情绪之间相互作用、特殊的神经回路以及共同涉及的脑区,并为心理和精神治疗提供更多的理论和临床依据。

参考文献

- [1] Bell DE. Regret in decision-making under uncertainty [J]. *Operat Res*, 1982, 30 (5): 961-981.
- [2] Loomes G, Sugden R. Regret Theory: An Alternative Theory of Rational Choice under Uncertainty [J]. *Econom J*, 1982, 92 (368): 805-824.
- [3] Mellers BA, Schwartz A, Ho K, et al. Emotional Reactions to the Outcomes of Risky Options [J]. *Psychol Sci*, 1997, 8 (6): 423-429.
- [4] Mellers B, Schwartz A, Ritov I. Emotion-Based Choice [J]. *J Exp Psychol*, 1999, 128 (3): 332-345.
- [5] Marchiori D, Warglien M. Predicting human interactive learning by regret-driven neural networks [J]. *Science*, 2008, 319 (5866): 1111-1113.
- [6] Camille N, Coricelli G, Sallet J, et al. The involvement of the orbitofrontal cortex in the experience of regret [J]. *Science*, 2004, 304 (5674): 1167-1170.
- [7] Coricelli G, Critchley HD, Joffily M, et al. Regret and its avoidance: a neuroimaging study of choice behavior [J]. *Nature Neurosci*, 2005, 8 (9): 1255-1262.
- [8] Zeelenberg M, Beattie J. Consequences of Regret Aversion 2: Additional Evidence for Effects of Feedback on Decision Making [J]. *Organizat Behav Human Decision Proc*, 1997, 72 (1): 63-78.
- [9] Zeelenberg M, Beattie J, vander Pligt J, et al. Consequences of Regret Aversion: Effects of Expected Feedback on Risky Decision Making [J]. *Organizat Behav Human Decision Proc*, 1996, 65 (2): 148-158.
- [10] Connolly T, Butler D. Regret in economic and psychological theories of choice [J]. *J Behav Decis Making*, 2006, 19 (2): 139-154.
- [11] Barrett LF, Mesquita B, Ochsner KN, et al. The experience of emotion [J]. *Ann Rev Psychol*, 2007, 58: 373-403.
- [12] Zeelenberg M, Pieters R. A theory of regret regulation 1.0 [J]. *J Consum Psychol*, 2007, 17 (1): 3-18.
- [13] Bechara A, Tranel D, Damasio H, et al. Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex [J]. *Cerebral Cortex*, 1996, 6 (2): 215-225.
- [14] Cohen MX, Elger CE, Ranganath C. Reward expectation modulates feedback-related negativity and EEG spectra [J]. *Neuroimage*, 2007, 35 (2): 968-978.
- [15] Fellows LK, Farah MJ. Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: evidence from a reversal learning paradigm [J]. *Brain*, 2003, 126 (Pt 8): 1830-1837.
- [16] Mitchell DG, Fine C, Richell RA, et al. Instrumental learning and relearning in individuals with psychopathy and in patients with lesions involving the amygdala or orbitofrontal cortex [J]. *Neuropsychology*, 2006, 20 (3): 280-289.
- [17] Schneider A, Mohr C, Morand S, et al. Early cortical response to behaviorally relevant absence of anticipated outcomes: a human event-related potential study [J]. *Neuroimage*, 2007, 35 (3): 1348-1355.
- [18] Gilovich T, Medvec VH. The Temporal Pattern to the Experience of Regret [J]. *J Pers Soc Psychol*, 1994, 67 (3): 357-365.
- [19] Zeelenberg M, van Dijk WW, Manstead ASR. Reconsidering the Relation between Regret and Responsibility [J]. *Organizat Behav Human Decis Proc*, 1998, 74 (3): 254-272.
- [20] Connolly T, Ordonez LD, Coughlan R. Regret and Responsibility in the Evaluation of Decision Outcomes [J]. *Organizat Behav Human Decis Proc*, 1997, 70 (1): 73-85.
- [21] Ordonez LD, Connolly T. Regret and Responsibility: A Reply to Zeelenberg et al. (1998) [J]. *Organizat Behav Human Decis Proc*, 2000, 81 (1): 132-142.
- [22] Coricelli G, Dolan RJ, Sirigu A. Brain, emotion and decision making: the paradigmatic example of regret [J]. *Trends Cognit Sci*, 2007, 11 (6): 258-265.
- [23] Tversky A, Kahneman D. The framing of decisions and the

- psychology of choice [J]. *Science*, 1981, 211 (4481): 453 - 458.
- [24] Dohke R. Regret in decision-making: The influence of prior experience on experienced regret [J]. *Int J Psychol*, 2004, 39 (5-6): 132 - 132.
- [25] Bechara A, Damasio AR. The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision [J]. *Games Econom Behav*, 2005, 52: 336 - 374.
- [26] Damasio AR. Toward a Neurobiology of Emotion and Feeling: Operational Concepts and Hypotheses [J]. *Neuroscientist*, 1995, 1 (1): 19 - 25.
- [27] Baxter MG, Murray EA. The amygdala and reward [J]. *Nature Rev Neurosci*, 2002, 3 (7): 563 - 573.
- [28] De Martino B, Kumaran D, Seymour B, et al. Frames, biases, and rational decision-making in the human brain [J]. *Science*, 2006, 313 (5787): 684 - 687.
- [29] Kahneman D, Frederick S. Frames and brains: elicitation and control of response tendencies [J]. *Trends Cognit Sci*, 2007, 11 (2): 45 - 46.
- [30] Gomez Beldarrain M, Garcia-Monco JC, Astigarraga E, et al. Only spontaneous counterfactual thinking is impaired in patients with prefrontal cortex lesions. *Brain research [J]. Cognit Brain Res*, 2005, 24 (3): 723 - 726.
- [31] Pais-Vieira M, Lima D, Galhardo V. Orbitofrontal cortex lesions disrupt risk assessment in a novel serial decision-making task for rats [J]. *Neuroscience*, 2007, 145 (1): 225 - 231.
- [32] Miller G. The good, the bad, and the anterior cingulate [J]. *Science*, 2002, 295 (5563): 2193 - 2194.
- [33] Hewig J, Trippe R, Hecht H, et al. Decision-making in blackjack: An electrophysiological analysis [J]. *Cerebral Cortex*, 2007, 17 (4): 865 - 877.
- [34] Nieuwenhuis S, Holroyd CB, Mol N, et al. Reinforcement-related brain potentials from medial frontal cortex: origins and functional significance [J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2004, 28 (4): 441 - 448.

责任编辑: 胜利

2008-03-24 收稿, 2008-06-24 修回

(上接第 62 页)

本研究的不足之处是样本仅限于普通中学生, 今后应将研究对象扩展到患有抑郁障碍的临床样本进一步进行研究。

参考文献

- [1] Angold A, Costello EJ, Messer SC. Development of a short questionnaire for use in epidemiological studies of depression in children and adolescents [J]. *Int J Meth Psychiatr Res*, 1995, 5: 237 - 249.
- [2] Costello EJ, Angold A. Scales to assess child and adolescent depression: checklist, screens and nets [J]. *J Am Adolesc Psychiatry*, 1988, 27: 726 - 733.
- [3] Messer SC, Angold A, Costello EJ. Development of a Short Questionnaire For Use In Epidemiological Studies Of Depression In Children and Adolescents: Factor Composition And Structure Across Development [J]. *Int J Methods Psychiatr Res*, 1995, 5: 251 - 262.
- [4] 寇建华, 杜亚松, 夏黎明. 儿童长处和困难问卷(父母版)上海常模的信度和效度 [J]. *上海精神医学*, 2005, 17: 25 - 28.
- [5] 王凯, 苏林雁, 朱焱, 等. 儿童焦虑性情绪障碍筛查表的中国城市常模 [J]. *中国临床心理学杂志*, 2002, 10: 270 - 272.
- [6] 张志群, 郭兰婷. Beck 抑郁问卷在成都市中学生中的试用 [J]. *中国心理卫生杂志*, 2004, 18 (7): 486 - 487.

责任编辑: 石川

2008-04-09 收稿, 2008-06-30 修回