

跨期选择的神经机制： 从折扣未来获益到折扣未来损失

徐丽娟¹ 梁竹苑² 王 坤¹ 李 纾² 蒋田仔¹

1. 模式识别国家重点实验室(中国科学院自动化研究所), 北京 100190

2. 中国科学院心理研究所社会与经济行为研究中心, 北京 100101

摘要 跨期选择是对不同时间产生的结果进行权衡的决策过程。该过程不仅涉及到获益, 往往也涉及到损失。以往对跨期选择神经机制的影像学研究主要集中在获益情境, 而损失条件下的神经机制仍属未知。在本研究中, 我们采用事件相关 MRI 技术, 通过获益和损失对称设计的两个决策任务, 考察了跨期选择的神经机制。研究发现, 对获得和损失进行折扣的神经机制并不对称。一般来说, 当被试对未来的获得与损失进行选择时, 侧额叶和后顶叶区域都发生了激活; 但在折扣损失时, 不仅这两个区域的脑激活更强, 脑岛、丘脑、背侧纹状体等区域也显著激活。其次, 如果被试需要对即刻获得选项进行选择时, 后扣带回和内侧前额叶皮质都会发生激活; 而在折扣损失时, 前扣带回、脑岛和额上回都会发生激活。这些结果说明, 人类的大脑对未来损失比对未来的获得更加敏感, 而这可能是由诸如恐惧、厌恶之类的负性情绪所驱动的。这一研究结果为揭开跨期选择时间折扣的神经机制提供了新的证据。

关键词: 跨期选择 折扣损失 内侧额叶皮层 前扣带皮层 背外侧额叶

中图分类号: Q42 **文献标识码:** A

文章编号: 1009-2412 (2009) 06-0025-03

收稿日期: 2009-8-10 修回日期: 2009-12-1

联系作者: 蒋田仔, 研究员, jiangtz@nlpr.ia.ac.cn; 李纾, 研究员, lishu@psych.ac.cn

研究资助: 国家自然科学基金 (60675033)。

一、研究背景和意义

人们常常需要对发生在不同时间 (尤其是现在与未来之间) 的成本与收益进行权衡, 从而做出各种选择和决策, 如是否购买保险, 储蓄还是消费, 是否节食等。经济学与行为决策领域中, 这种选择被专称为跨期选择 (intertemporal choice)^[1]。在现实生活中, 小至个体的日常生活和经济行为, 大到组织乃至国家公共政策制定, 人类做出的绝大多数选择都具有时间性。因此, 跨期选择是一个无所不在且具有重要意义的研究问题。正如亚当·斯密首先指出的, 它不仅影响一个人的健康、财富与幸福, 也关系到国家的经济繁荣。

长期以来, 跨期选择是经济学和行为决策领域关注的一个重要问题。对跨期选择研究的一个基本发现是, 与当前或近期的损益相比, 人们总是倾向于赋予未来获益或损失更大权重, 这一现象叫做时间折扣 (time discounting)。时间折扣是个体经济心理与行为中的一个重要属性, 它反映了个体如何看待未来或过去事物的价值, 如金钱、生命等。已有研究发现, 时间折扣不仅与个体的重要心理特征相关, 如人格、智力^[2]等, 也与社会经济环境的变化直接相连, 如利率变化、通货膨胀等^[1]。1937年, 经济学家 Paul Samuelson 提出了一个理性模型——折扣效用理论 (discounted-utility model, DU), 用以解释时间折扣问题。DU 理论假设, 人们会将未来不同时间点的效用按照同一比率 (指数函数的形式) 进行折扣, 而折扣后的未来各期效用之和, 就是人们对该决策赋予的总效用。但自 20 世纪 80 年代以来, 随着行为经济学的兴起, 研究者逐渐发现了违背 DU 理论的多种异象 (anomalies), 如: 人们对获得的时间折扣率 (discounting rate) 大于损失 (符号效应, sign effect); 奖赏数量不同, 折扣率也会产生变化等^[2]。因此, 不

少研究者在 DU 模型的基础上提出了各种双曲线折扣模型 (hyperbolic discounting model), 来解释时间折扣中发现的种种异象^[3]。

近 10 年来, 时间折扣问题不再仅仅是经济学家和行为决策学家的专宠, 而逐渐成为神经科学与心理学、精神病学等学科研究者共同关注的一个问题。这一关注包括了两个层面的原因。

其一, 人类与动物的重要差异之一是人类具有对未来进行计划和规划的能力。但在进行跨期选择时, 人类却同寓言中“朝三暮四”的猴子一样, 更偏好即刻的价值。大量神经科学和心理学研究已经从进化的角度证实, 从动物到人类, 从儿童到成人, 均普遍存在这种偏好^[4]。因此, 出于神经科学领域近年来深入探索人类心智的起源与机制的需要, 时间折扣成为神经科学, 尤其是神经经济学 (neuroeconomics) 中的一个热点和重要研究问题。

其二, 由于时间折扣的潜在机制与个体的冲动性和自我控制功能密切相关, 时间折扣可能与一系列精神疾病相连, 如各类成瘾行为、孤独症、暴饮暴食症等。已有大量行为学研究发现, 成瘾病人的时间折扣率显著高于正常人^[5]。近期的神经影像研究也发现, 成瘾人群额顶区域的活动性明显较低^[6]。因此, 物质成瘾的折扣模型, 也成为精神疾病学和神经经济学领域未来研究的重要方向之一^[6]。

2004 年, 神经经济学家 McClure、Cohen 与著名行为经济学家 Laibson、Loewenstein 合作, 在 *Science* 杂志上发表了一篇重要研究报告, 首次从神经机制上证明了不同的神经系统负责加工人类赋予即刻和延迟金钱奖赏的价值。该研究发现, 边缘系统与额顶网络的相对激活程度决定了被试的选择, 边缘系统在被试选择短期小金额时激活更强, 额顶网络在被试选择得到未来较大金额的奖赏时激活更强^[7]。该研究激起了近 5 年来学界对跨期选择神经机制的研究热潮。

据不完全统计, 截至 2008 年, 在决策的神经科学领域已发表的研究中, 涉及时间折扣问题的研究有 18 篇, 约占该领域研究总数的 40%^[8]。且其研究的广度和深度, 均超出了其它领域的研究: 不仅涵盖了动物和人类被试, 还广泛使用了从神经影像学、神经化学到神经解剖学等多种研究手段。这些研究发现, 眶额皮层、伏隔核、基底外侧杏仁核、背外侧前额叶皮层、后部顶叶皮层、前脑岛、纹状体等区域参与了跨期选择的神经机制, 研究者已开始探索各种神

经递质在跨期选择中的作用, 如谷氨酸、血清素、多巴胺、去甲肾上腺素等。

二、主要研究结果

跨期选择不仅仅发生在获益情境中, 也发生在损失情境中。行为学研究中已发现了跨期选择的符号效应, 即人们在对未来损失的折扣率低于对未来获得的折扣率^[2]。但目前已有神经影像学研究都集中于探索获得情境下时间折扣的机制, 忽视了获得的反面情境——损失。因此, 本研究组以比较跨期选择的获得与损失情境为突破口, 探索了两种条件下大脑神经活动的差异性。在本研究中, 研究组借助于脑成像技术, 巧妙地采用了获得与损失完全对等的实验设计, 要求被试对更早获得 (损失) 和延迟获得 (损失) 金钱的一对选项进行选择。并在被试完成实验任务的同时, 实时记录其大脑的活动。

我们的研究发现, 获得和损失条件下跨期选择的神经机制并不对称。当被试对未来的获得与损失进行选择时, 背侧额叶和后顶叶区域活动水平显著增强; 但在折扣损失时, 不仅这两个区域的脑活动水平显著比在折扣获得时更强, 脑岛、丘脑、背侧纹状体等负性情绪相关区域活动水平也表现出显著增强。其次, 在被试对包含即刻获得的选项进行选择时, 后扣带皮层和内侧前额叶皮层活动水平显著增强; 但在对包含即刻损失的选项进行选择时, 前扣带回、脑岛和额上回活动水平显著增强。研究表明, 人类的大脑对未来损失比对未来的获得更加敏感, 而这可能是由诸如恐惧、厌恶之类的负性情绪所驱动的。相关研究结果发表在 2009 年 3 月的 *Brain Research* 期刊上^[9]。

三、研究意义

此项研究的创新之处和重要意义在于, 通过巧妙的实验设计, 首次考察并比较了获得与损失领域中时间折扣的神经机制, 为人们选择时存在非理性偏差提供了新的科学证据。跨期选择是人类计划能力的重要行为表现, 与一系列个体及社会层面因素密切相关。因此, 深入探索跨期选择的神经机制是探究人类意识起源和机制的重要组成部分。此外, 通过对正常人时间折扣神经机制的研究可以发现一些关键性脑区, 对这些脑区作用的深入研究将对药

物成瘾等精神疾病领域提供重要的理论指导。

参考文献

- [1] Frederick S, Loewenstein G, O'Donoghue T. Time discounting and time preference: a critical review. *Journal of Economic Literature*, 2002, 40(2): 351—401
- [2] Shamosh N A, Gray J R. Delay discounting and intelligence: A meta-analysis. *Intelligence*, 2008, 36(4): 289—305
- [3] Laibson D. Golden eggs and hyperbolic discounting. *The Quarterly Journal of Economics*, 1997, 112(2): 443—477
- [4] Kim S, Hwang J, Lee D. Prefrontal coding of temporally discounted values during intertemporal choice. *Neuron*, 2008, 59(1): 161—172
- [5] Kirby KN, Petry NM, Bickel W K. Heroin addicts discount delayed rewards at higher rates than non-drug using controls. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1999, 128: 78—87
- [6] Paulus M P. Decision-making dysfunctions in psychiatry altered homeostatic processing? *Science*, 2007, 318(5850): 602—606
- [7] McClure S M, Laibson D I, Loewenstein G, Cohen J D. Separate neural systems value immediate and delayed monetary rewards. *Science*, 2004, 306(5695): 503—507
- [8] Doya K. Modulators of decision making. *Nat Neurosci*, 2008, 11(4): 410—416
- [9] Xu L, Liang Z Y, Wang K, Li S, Jiang T. Neural mechanism of intertemporal choice: from discounting future gains to future losses. *Brain Research*, 2009, 1261: 65—74

From Discounting Future Gains to Future Losses

Xu Lijuan, Wang Kun, Jiang Tianzi

L IAMA Center for Computational Medicine, National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Liang Zhuyuan, Li Shu

Center for Social and Economic Behavior, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

Intertemporal choice, the tradeoff among outcomes

occurring at different points in time, involves not only benefit options but also those associated with cost. Previous neuroimaging studies have primarily focused on discounting future gains; thus the neural mechanism underlying discounting future losses remains unidentified. Using event-related functional magnetic resonance imaging, we comprehensively investigated the neural mechanism of temporal discounting using two decision-making tasks with a symmetric pattern of gains and losses. Our results revealed that the lateral prefrontal and posterior parietal areas were activated in discounting both future gains and future losses, but their activations were stronger when discounting losses. Moreover, we found that the insula, thalamus and dorsal striatum were more activated during intertemporal choices involving losses, suggesting that the enhanced sensitivity to losses may be driven by negative emotions. In addition, whereas the posterior cingulate cortex and medial prefrontal cortex were activated when the choices included immediate options, extra regions including the anterior cingulate cortex, insula and superior frontal gyrus were preferentially activated when the choices involved immediate losses. Taken together, our findings suggest that a fronto-parietal network supports the common discounting process, and more importantly, discounting future losses and gains occurs asymmetrically in the brain. We speculate that this may provide a neural basis for the phenomenon that future losses are discounted less steeply than future gains.

Keywords: intertemporal choice; discounting losses; medial prefrontal cortex; anterior cingulate cortex; dorsolateral prefrontal cortex