

爱荷华博弈任务(IGT)与决策的认知神经机制*

蔡厚德¹ 张 权² 蔡 琦³ 陈庆荣¹

(¹ 南京师范大学心理学院, 南京 210097) (² 南京农业大学工学院, 南京 210031)

(³ 南京师范大学数学科学学院, 南京 210097)

摘 要 爱荷华博弈任务(IGT)是一项检查情感性决策机制的常用实验范式。据此, Damasio 等人提出了躯体标记假设(SMH)解释情绪影响决策的神经生理机制。近期, 大量研究在 IGT 究竟是模糊决策还是风险决策、与情绪和认知的关系、与工作记忆和陈述性记忆的关系以及 IGT 的神经网络与分子遗传机制等方面积累了丰富资料。结果显示, IGT 加工的早期由模糊决策主导, 情绪性躯体信号对引导决策选项的偏好可能起关键作用, 后期则倾向是一种风险决策, 认知评价和预期对选项偏向逐渐占优势; IGT 与工作记忆的加工成分有相互重叠, 也需陈述性记忆的参与; IGT 的加工不仅依赖于杏仁核、腹内侧前额皮层、眶额皮层等组成的情绪脑网络的活动, 还与背外侧前额皮层、海马、腹侧纹状体、岛叶皮层、辅助运动前区、扣带回皮层等许多脑区的活动有关; COMT 和 5-HTT 的基因多态性会调节 IGT 相关的决策加工。总之, IGT 是一项需要多重神经系统协同活动的决策加工任务, 且模糊与风险决策可能具有不同的遗传基础。

关键词 爱荷华博弈任务; 情感性决策; 模糊与风险决策; 工作记忆; 陈述性记忆; 躯体标记假设; 认知神经机制

分类号 B849:C91; B845

1 前言

决策(decision-making)是指对已有方案进行评估和选择的过程(Simon, 1986)。在日常生活与工作中, 人们时常会面临一些情境需要做出决策, 选择的结果好坏不仅会影响个体的心理感受和生活质量, 对经济与社会等诸多领域的活动也有重要意义(庄锦英, 2003; Reimann & Bechara, 2010)。因此, 决策机制的研究倍受关注, 且研究成果颇丰, 决策及博弈论研究者曾多次获得诺贝尔经济学奖。

较早的观点认为, 决策机制是纯理性的认知过程(Damasio, 1994)。目前, 研究者开始关注情绪或情感对决策的影响(庄锦英, 2003; Pfister & Bohm, 2008)。Damasio 等人在研究情感性决策(affective decision-making)方面有其独到的见解, 他们基于脑损伤病人的研究证据提出了著名的躯

体标记假设(somatic marker hypothesis, SMH), 试图从神经生理学层面对决策的情绪调节机制进行阐述, 开创了决策神经科学研究的新领域(Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994; Damasio, 1996; Damasio, Tranel, & Damasio, 1991; Reimann & Bechara, 2010)。

情感性决策是指个体在面临价值矛盾而引发情感冲突时作出趋利避害选择的能力(李小晶, 李红, 张婷, 廖渝, 2010)。Bechara 等人(1994)设计的一项博弈任务(gambling task)为研究情感性决策提供了重要手段。在这项任务中, 有四组外观相同的纸牌(A、B、C、D), 每翻一张纸牌都有即时奖赏(A、B 组 100 美金, C、D 组 50 美金), 但有些纸牌也有不可预测的惩罚(从 50 美元到 1250 美元不等), 被试可以自主选择任意翻一张纸牌, 实验任务要求被试尽可能多的赢钱。该博弈任务是在美国爱荷华大学设计的, 又称爱荷华博弈任务(Iowa gambling task, IGT)。IGT 能够很好的模拟现实情境中的决策过程, 任务本身就是一项游戏, 被试参与程度高, 且一些参数(奖惩方式、纸牌组

收稿日期: 2011-12-12

* 国家自然科学基金项目(31100814)支持。

通讯作者: 陈庆荣, E-mail: psycqr@163.com

数或数量)的改变并不影响实验的信效度,特别是对该范式的计算机模拟既简化了实验,又为研究决策的神经机制提供了便利(Dunn, Dalgleish, & Lawrence, 2006)。

然而,尽管一些研究者将 IGT 视为检查情感性决策的实验范式,但对其认知神经机制的认识尚存在诸多分歧。近期,大量研究在 IGT 究竟是模糊决策还是风险决策,IGT 与情绪和认知的关系,IGT 与工作记忆的关系,IGT 与陈述性记忆的关系,以及 IGT 加工的神经网络与分子遗传学等方面都积累了丰富资料。本文将就以上问题的研究证据进行梳理,重点阐述 IGT 作为一种情感性决策加工的认知神经机制。

2 IGT 是模糊决策还是风险决策

根据选择结果的确定性,决策可分为确定性的和不确定性的两类。其中,不确定性的决策(decision-making under uncertainty)机制是研究者关注的重点。根据结果出现概率的可知性,不确定性决策又可分为两类:一类是决策出现不同结果的概率可知,称为风险决策(risky decision-making),如抛硬币、轮盘游戏等;另一类是决策结果的概率不可知,称为模糊决策(ambiguous decision-making),如恐怖袭击、地震等(Levy, Snell, Nelson, Rustichini, & Glimcher, 2010; Platt & Huettel, 2008)。尽管一些研究者指出,IGT 是模糊决策(Bechara & Damasio, 2005; Delazer et al., 2010),但也有研究者认为 IGT 不完全是模糊决策,或只有最初部分是模糊决策(Brand, Labudda, & Markowitsch, 2006; Brand, Recknor, Grabenhorst, & Bechara, 2007; Lawrence, Jollant, O'Daly, Zelaya, & Phillips, 2009; Stoltenberg & Vandever, 2010)。

例如,Bechara 和 Damasio (2005)比较了 IGT (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997)和剑桥博弈任务(Cambridge Gamble Task, CGT) (Rogers et al., 1999)后认为,IGT 是一种模糊决策任务,CGT 则是一种风险决策任务。在 CGT 中,被试需要根据红色和蓝色盒子的比率来决定黄色筹码(token)出现在哪种盒子中,并以此来分配自己放在红色和蓝色盒子上的赌注(如十个盒子中,红和蓝的比例为 9:1,这时黄色标记物出现红色盒子中的可能很大,被试可能会在红色盒子上放大的赌注,而蓝色盒子上放小的赌注)。可见,在

CGT 中被试清楚地知道筹码出现情况的概率,也了解决策后果所带来的风险。但是,在 IGT 中被试经过 100 次的选择,即使对各类选择总的好坏可以形成概念(如 A、B 组纸牌是不利的, C、D 组纸牌是有利的),但需要约 400 次的选择后他们才能完全获得奖惩大小以及奖惩概率分布的知识,所以被试对 IGT 的认识是模糊的(Bechara et al., 1997)。

然而,Brand 等人(2007)通过比较掷骰子博弈任务(Game of Dice Task, GDT)和 IGT 后则认为, GDT 是一种风险决策,而 IGT 并不是完全的模糊决策。在 GDT 中,要求被试猜掷出去的一个骰子正面朝上的点数(1~6)。有四种选择:一是猜一个点数(概率是 16.6%),如 1,如果猜中就能赢 1000 元,猜错输 1000 元;二是猜二个点数(概率是 33.3%),如 2 和 4,如果猜中能赢 500 元,猜错输 500 元;三是猜三个点数(概率是 50%),如 1、3、5,猜中赢 200 元,猜错输 200 元;四是猜四个点数(概率是 66.6%),如 1、2、3、5,猜中赢 100 元,猜错输 100 元。可见, GDT 中被试对自己所选结果出现的概率和所要承担的风险是清楚的,因而是一种风险决策。相对而言,IGT 更加复杂。在四组纸牌中 A、B 和 C、D 的奖励是不同的,每组中惩罚出现的概率和大小差异也较大。任务之初,被试对这些都一无所知。随着任务的进行,他们会慢慢对之形成一定的认识,逐渐知道哪组是有利的,哪组是不利的,使选择的范围不断缩小,进而可能会将选择局限于有利组,每次只需承受有利组的风险就可以了。所以,在 IGT 中被试对前面约 40 次(因人而异)选择是模糊决策,而后面的选择更倾向于风险决策(Brand, Heinze, Labudda, & Markowitsch, 2008; Brand, et al., 2006; Maia & McClelland, 2004)。

可见,如果单纯从概率方面来分析,IGT 确实是模糊决策;如果从个体的学习与认知的角度来看,伴随任务的进程也确实存在着将模糊风险化的倾向。因此,可以将 IGT 的早期(前 20~40 次)视为模糊决策阶段,而后期则视为风险决策阶段。如果以 IGT 作为研究模糊决策的工具,便可以将选择次数减到 40 次以下;如果将 IGT 作为考查风险决策的工具,则可以安排 100 次的选择。

3 IGT 加工中情绪与认知的作用

关于决策机制的研究,从开始的完全理性到

有限理性,再到重视情绪的作用,认知与情绪在决策中的重要性似乎出现了转变(庄锦英, 2003)。Damasio 等人(1991, 1994, 1996)经过多年的研究发现,腹内侧前额叶皮层(ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)损伤者的社会性和情绪性决策(social and emotional decision-making)能力都受到了削弱,推测这些病人的决策缺陷可能是由脑损伤引起的情绪加工缺失所致,并提出了躯体标记假设,试图将情绪的外周反应与中枢机制统合起来,以情绪环路模型(emotional circuit model)来阐明情绪在决策中作用的生理机制(刘飞, 蔡厚德, 2010)。

Damasio 等人(1991)的研究表明,vmPFC 损伤者和控制组被试在无条件刺激(如耳边的一声大叫)作用时都会诱发皮电反应(skin conductance responses, SCRs);而在情绪图片诱导时,vmPFC 损伤者对负性情绪图片(如肢解的受伤者)并不出现 SCRs 的波动,其它脑部位损伤的被试和正常被试则有 SCRs 的增强,且 vmPFC 损伤被试在实验后也声称自己在看到这些负性情绪图片时没有情绪上的反应,从而证实了 vmPFC 损伤(中枢)、SCRs(外周)和情绪三者之间的关系。

Bechara 等人(1994)进一步发现,vmPFC 损伤者在 IGT 中表现出对即时强化的偏好,对未来的短视,即偏向于选择高收益的纸牌,而不顾整体上的长远利益损失。后续的研究还表明,正常被试在选择到一定阶段(前预感期、预感期和概念期)时会出现预期 SCRs,且对不利纸牌预期的 SCRs 要大于有利纸牌,而 vmPFC 损伤被试则没有预期的 SCRs,有的人在达到概念期时还是更多地选择高风险纸牌,从而将 vmPFC 损伤(中枢)、SCRs(外周)、情绪和决策四者联系起来,认为情绪在决策会起到快速的预警作用,因而帮助人们做出有利的决策(Bechara et al., 1997)。

其后的研究(Bechara, Damasio, Damasio, & Lee, 1999)进一步发现,杏仁核的损伤尽管也影响决策,但与 vmPFC 的作用不同。杏仁核损伤的被试在预期和反馈阶段都没有 SCRs 或 SCRs 都很低,而 vmPFC 损伤被试在反馈阶段有 SCRs,但在预期阶段没有 SCRs 或 SCRs 很低。杏仁核损伤的被试由于无法习得这种躯体信号,导致决策时缺乏它们的引导,从而使患者的决策能力受到削弱;而 vmPFC 损伤病人虽然可以习得这些躯体信号,

但整合躯体信号做出决策的能力受到了损害。

但是,Maia 和 McClelland (2004)对 Bechara 等人 1997 年的实验进行验证,通过设置更细致的问题来考察被试对整个实验的认知程度,发现被试对实验认识得很早(大概在前 20 次),并伴随着口头的正确报告总能做出有利的选择。研究者认为,在前 20 次(前惩罚期)被试在通过试误来积累实验的知识,在形成认识后则不需要情绪的参与,直接用形成的知识进行决策。Wagar 和 Dixon (2006)重复做了上述两个实验,发现在被试形成明确的理想选择策略前,他们的 SCRs 在选择不利纸牌时会相对于有利纸牌更强的反应,提示情绪信号可能在引导高级认知决策中起了作用。之后,de Vries, Holland 和 Witteman (2008)还发现,在 IGT 的早期,赢钱会引起更明显的感觉良好的正性情绪状态,也可能会诱发相对于输钱更强的情感信号,进而引导被试倾向于选择有利纸牌,但这项研究中并没有测量决策过程中的外周情绪反应指标。

以上证据提示,在 IGT 的决策中既存在内隐的情绪加工,又有外显的认知加工。IGT 的早期可能由模糊决策主导。在这一期间,由输钱与赢钱后果所诱发的情绪性躯体信号会引导个体规避不利选项或倾向于有利选项。伴随任务的进程,个体会逐渐发展出对选择结果较为明确的认知和预期,情绪性躯体信号的引导作用可能会渐趋弱化。到了 IGT 的后期,较为理性的认知决策过程就会较少受到情绪信号的调节,这一阶段中个体的风险意识会逐渐增强。因此,内隐性的躯体信号和外显知识可能都参与决策过程(Guillaume et al., 2009),但情绪与认知成分既相互分离,又相互影响,它们在时间进程上可能存在动态交互影响。

4 IGT 与工作记忆的关系

工作记忆(working memory)是对信息进行暂时存储和加工的资源有限的记忆系统,可以反映认知执行的复杂心理加工,主要与背外侧前额皮层(dorsal lateral prefrontal cortex, dLPFC)等脑区的活动有关(Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2009)。为了探查 IGT 与工作记忆的关系,Bechara, Damasio, Tranel 和 Anderson (1998)比较了 vmPFC 和 dLPFC 损伤被试在 IGT 和延迟任务(delay task, DT)中的表现。在 DT 中,先给被试呈现四张纸牌 2 秒。其

中,两张面朝上,两张面朝下,面朝上的纸牌是红色或黑色的,其位置是随机的。消失后,再次呈现四张纸牌,面都朝下,要求被试选择两张刚才出现的纸牌,选择正确(两张都选对)赢100元,选对一个或一个都不对,输100元。结果发现,前部vmPFC损伤被试的IGT表现有缺陷,而在DT中表现正常;后部vmPFC损伤的被试在两项任务中都有缺陷;右侧dLPFC损伤的被试在DT中有缺陷,而在IGT中表现正常;左侧dLPFC损伤被试在两个任务中表现都没有缺陷。这一结果表明,IGT和DT在神经解剖结构上(vmPFC和dLPFC)是双分离的,提示决策似乎不直接依赖于工作记忆。

但是,Kerr和Zelazo(2004)把原始的4组纸牌简化为2组,把被试需要完成的选择次数减少到50次,这会明显降低对工作记忆的要求。结果发现,4岁儿童在这种简化的IGT中就已经能够做出有利选择了,提示工作记忆的负荷可能会调节IGT中的决策加工。据此,Dretsch和Tipples(2008)通过调节IGT的工作记忆负荷进一步考察决策与工作记忆的关系。在低记忆负荷任务中,被试听到数字序列“12345”后再听到一个数字如“4”,随后问这个数出现在第几个位置;高记忆负荷任务中,被试听到数字序列“31542”后再听到一个数字如“4”,随后问这个数出现在第几个位置。结果显示,只有当低记忆负荷时被试才会更多地从有利组中选择纸牌,从而证明了工作记忆对决策加工有重要作用。由于IGT中包含了极其复杂的信息,个体在任务完成的过程中必须利用工作记忆来记住纸牌的即时奖励和惩罚数量、惩罚的分布情况以及已完成的纸牌选择所带来的输赢信息反馈,因此工作记忆的负荷变化会在一定程度上影响决策任务的成绩(李秀丽,李红,孙怡昕,2009)。

工作记忆任务中还需要抑制控制与任务切换等成分的参与,以便执行目标定向的认知任务(刘昌,2002)。一些研究已经表明,vmPFC损伤病人在颠倒学习任务(reversal learning task)中有明显缺陷,提示患者存在抑制控制和切换能力的缺失(Rolls,1999;Remijnse,Nielen,Uylings,&Veltman,2005)。在完成IGT时,得失规则的计算主要依赖于抑制控制和切换,由于不利纸牌开始会持续出现高额奖励,经过一些选择之后,被试必须习得这些纸牌是不利的,因为从长远看来会给他们带来损失(Brand,et al.,2006)。Fellows和Farah(2005)

巧妙地重新安排了IGT中不利纸牌的奖励和惩罚的分布,使得不利纸牌(A,B)在开始的一些选择中不再产生明显优势。结果发现,vmPFC患者的成绩达到了几乎与正常被试相同的水平,说明患者在IGT中倾向于不利选项与任务早期的抑制与切换困难有关。可见,决策过程与工作记忆可能并不是完全分离的,它们也许共享了一些基本的加工成分,如信息的暂存、抑制控制与任务切换等。

另外,由于前扣带回皮层(anterior cingulate cortex, ACC)在目标定向行为中可能基于个体的动机提供对行动结果“好与坏”的情绪性预知信号,并可以通过协调注意资源来解决知觉和反应冲突(蔡厚德,刘昌,2004),因此ACC与决策和工作记忆可能都有关系,这也许就是Bechara等人(1998)发现后部vmPFC损伤的被试在IGT和DT中都有缺陷的原因,因为这一脑区与ACC存在一定程度上的交叠。

5 IGT与陈述性记忆的关系

陈述性记忆(declarative memory)是一种反映事件逻辑关联的长时记忆,主要利用事件中的人物、地点在空间、时间及其关系的信息形成对事件顺序的关联(Cohen & Banich, 2003; Eichenbaum & Cohen, 2001)。大量研究证据表明,海马(hippocampus)等内侧颞叶(medial temporal lobe)脑区是陈述性记忆形成的关键结构(Shrager, Kirwan, & Squire, 2008)。近期研究显示,海马对IGT的正常决策加工是必要的,但海马受损病人与杏仁核和vmPFC受损病人会表现出不同的模式(Gupta et al., 2009; Gutbrod et al., 2006)。杏仁核和vmPFC受损病人都倾向于选择不利纸牌,但双侧海马受损的病人会平衡地选择有利与不利纸牌,即他们的成绩处在零分水平上(Gupta et al., 2009)。另外,与杏仁核受损病人不同,双侧海马受损病人在受到惩罚和奖励时会出现正常的SCRs(Gutbrod et al., 2006),特别是倾向于从近期受到惩罚的纸牌中离开,但这并非是一种聪明的策略,因为正常人一般会意识到总体上有优势的纸牌(C,D)可能较多出现惩罚,但金额却较小(Gupta et al., 2009)。陈述性记忆对构建在任务进程中不断变化的每组纸牌多次选择结果的记忆表征是必要的,由于海马受损病人的陈述性记忆存在缺陷,导致他们不能形成这类记忆表征,因而

只能对即时惩罚做反应(Gupta, Koscik, Bechara, & Tranel, 2011)。

研究(Gupta et al., 2009)还发现, 双侧海马和杏仁核都受损的病人在 IGT 中的表现与双侧海马受损的病人相似, 但与双侧杏仁核受损的病人不同, 提示正常的决策表现起码需要两个相互分离且关联的认知加工系统的联合运作: 一是能够标记或表征与选择后果效价值(value)相关的情绪性标签系统, 这会受到 vmPFC 和杏仁核的调节; 二是可以形成与维持灵活变化(非线性波动)的选择后果效价值的陈述性记忆系统, 这主要由海马结构负责加工。由于双侧海马和杏仁核都受损的病人在 IGT 中的表现与海马受损病人相似, 提示陈述性记忆可能对复杂决策任务中形成持续更新的选择后果效价值的情绪性标签是关键的(Gupta et al., 2011)。

6 神经功能成像研究

近期, 研究者开始采用神经功能成像技术检查正常人被试完成 IGT 的脑功能活动情况, 探究与 IGT 相关的决策加工脑机制。Ernst 等人(2002)最早采用正电子放射断层扫描术(positron emission tomography, PET)进行研究, 控制任务是让被试按一定顺序选择纸牌。结果显示, 右额叶和后部皮层的脑网络明显激活, 包括 vmPFC、内侧眶额皮层(medial orbital frontal cortex, mOFC)、dLPFC、ACC、岛叶皮层(IS)和后部顶叶皮层等脑区, 提示参与 IGT 决策加工的脑系统十分广泛。

由于 PET 较低的时间和空间分辨率, 因而还不能探明决策过程中不同脑区的具体作用以及它们的相互关系。近年来, 功能性磁共振成像术(functional magnetic resonance imaging, fMRI)逐渐成为检查与 IGT 决策过程的不同阶段或成分相关神经活动的主要工具, 取得了一些有价值的证据。例如, Lin, Chiu, Cheng 和 Hsieh (2008)检查了 IGT 决策前的预期(anticipation)与决策后的经验(experience)阶段, 以及输钱与赢钱量相关的脑区活动。结果表明, 预期阶段中岛叶皮层和基底神经节(basal ganglia)显著激活; 经验阶段中顶下小叶(inferior parietal lobe)有显著激活; 内侧前额叶皮层(medial prefrontal cortex, mPFC)则在高惩罚时有显著激活。研究者认为, 岛叶皮层和基底神经节可能在引导长期有利决策中起关键作用; 顶

下小叶参与了对结果的评估; 内侧前额皮层对错误监控至关重要。

再如, Lawrence 等人(2009)对 17 名男性被试在完成 IGT 时进行 fMRI 扫描, 发现所有被试的 vmPFC 都有显著的激活, 但 IGT 的连续与动态加工过程需要 vmPFC 和 dLPFC 的协同活动。而且, 风险(risk)纸牌比保守(safe)纸牌更多激活了内侧前额回(medial prefrontal gyrus); 外侧眶额皮层(lateral orbital frontal cortex, IOFC)、岛叶皮层、辅助运动前区(pre-supplementary motor area, pre-SMA)和次级躯体感觉皮层(secondary somatosensory cortex)的激活与决策行为有关, 但 IOFC 和 pre-SMA 的激活会随时间而发生改变, 提示它们可能参与了决策的情绪性学习; 纹状体-丘脑系统(striato-thalamic system)在赢钱比输钱时有更多激活, 表明它们可能是奖赏功能的代表区。

还如, Li, Lu, D'Argembeau, Ng 和 Bechara (2010)的 fMRI 研究表明, IGT 中的决策加工激活了躯体标记活动和决策制定相关的神经环路。研究者认为, dLPFC 与工作记忆有关, 岛叶皮层和后部扣带回皮层(posterior cingulate cortex)表征情绪状态, mOFC 和 vmPFC 可以将以上两种加工耦合起来, 而腹侧纹状体(ventral striatum)和 ACC/SMA 则负责决策行为的执行。

另外, Hartstra, Oldenburg, Leijenhorst, Rombouts 和 Cronea (2010)采用 fMRI 检查了 9 名男性被试在 IGT 中奖惩规则学习和应用的相关脑区活动。结果表明, 外侧前额皮层(LPFC)、ACC、pre-SMA 在决策的早期激活, 参与规则的学习, 以便引导远期结果的决策行为; mOFC (包括 vmPFC)在决策后期激活, 与规则的应用有关, 可以引导与当前奖赏效价值相关的决策行为。可见, IGT 中奖惩规则的习得与运用涉及情绪加工、认知执行、动作学习和运动程序编制等多个脑系统的活动, 它们的动态相互作用可能是决策制定的重要认知神经基础。

7 IGT 的分子遗传学基础

近年来, IGT 中决策加工的分子遗传基础也受到了关注。研究证据显示, 多巴胺(DA)能和 5-羟色胺(5-HT)能中枢递质系统参与了 IGT 的决策调节(Bechara & Damasio, 2005)。儿茶酚胺-O-甲基转移酶(catechol-O-methyltransferase enzyme,

COMT)是一种导致前额皮层中 DA 水平下降的分解酶,其活性可以作为检测 DA 水平的间接指标(Roussos, Giakoumaki, Pavlakis, & Bitsios, 2008);5-羟色胺转运体(serotonin transporter, 5-HTT)可以将突触间隙中多余的 5-HT 吸收入突触前膜以便循环利用,其活性可以间接评价 5-HT 的活动水平(Stoltenberg & Vandever, 2010)。采用基因分析技术,研究者可以确定个体的 COMT 和 5-HTT 基因多态性(polymorphism),同时评价他们在 IGT 中表现,进而考查中枢 DA 和 5-HT 能神经递质的功能水平与 IGT 成绩的关系,以便探究与 IGT 相关的决策加工的分子遗传机制。

Roussos 等人(2008)检查了 COMT 基因(rs⁴⁸¹⁸ C/G)多态性对男性健康被试完成认知执行的剑桥三色球任务(Stockings of Cambridge, SoC)和情感性决策的 IGT 的影响。结果表明, C/C 个体在 SoC 中的表现最好, G/G 个体的表现最差,而 C/G 个体的表现适中,但 G/G 个体在 IGT 中的表现要明显好于其他两组个体。由于等位基因 C 决定 COMT 的低活性与前额皮层中 DA 的高水平,等位基因 G 决定 COMT 的高活性与前额皮层中 DA 的低水平,因此, C/C 个体的高水平 DA 对非情绪的认知执行任务解决有利,而对情感性决策不利, G/G 个体的低水平 DA 则对情绪性决策有利,而对非情绪性的决策不利。研究者推测,情绪性决策需要中介情绪信号的反馈,而前额皮层中高水平的 DA 会干扰这种加工。

Stoltenberg 和 Vandever (2010)检测了 188 名健康被试体内 5-HTT 基因(SLC6A4)和色氨酸羟化酶-2 (tryptophan hydroxylase-2, TPH2)基因多态性对被试完成 IGT 的影响,发现只有 5-HTT 基因多态区(serotonin transporter length polymorphic region, 5-HTTLPR)的多态性会影响模糊决策行为(IGT 的前 20 次),但对风险决策行为(IGT 的后 80 次)影响不大。而且,这种影响出现了有意义的多态性与性别的交互效应,即携带至少一个短等位基因(S/_)的男性与携带两个长等位基因(L/L)的男性相比,对较大的输钱更加敏感,在任务的前 20 次试测中会较快形成选择有利纸牌的倾向,而携带两个长等位基因(L/L)的纯合子女性则倾向于选择有利纸牌。这一结果支持有关 IGT 早期是模糊决策而后期是风险决策的观点,提示这两种决策机制可能具有不同的遗传基础,且模糊决策的

个体差异可能与 SLC6A4 的基因变异有关,并会受到性别因素的调节。

He 等人(2010)还完成了一项中国人大样本(572 名大学生)的 5-HTTLPR 多态性对 IGT 影响的研究,实验控制了被试的智力和记忆能力。结果显示,携带短等位基因纯合子(S/S)的个体在前 40 次试测中的成绩明显差于携带长等位基因(L/L)纯合子的个体,且男性的表现更明显。这一证据表明,模糊决策与风险决策可能具有不同的遗传根源,并可能会受到文化和性别等因素的影响。研究者推测,杏仁核、vmPFC 和岛叶皮层组成的神经环路可能负责调节这种机制。

另外, van den Bos, Harteveld 和 Stoop (2009)还检测了 70 名健康妇女被试体内影响 DA 代谢的 COMT Val¹⁵⁸ 和 5-HTTLPR 多态性与决策的关系。结果表明, DA 和 5-HT 在 IGT 中都起作用,主要调节对输赢的注意、知识更新的效率和反应的一致性。

8 总结与展望

综上所述, IGT 中的决策加工涉及了多重心理加工系统。伴随任务的进程,情绪与认知加工在决策中的作用可能发生着动态改变。在 IGT 的加工早期,模糊决策可能起主导作用,内隐的情绪性躯体信号会编码与引导纸牌的选择偏好;在 IGT 加工的后期,决策的风险意识可能会逐渐显现,外显的认知评价和预期会逐渐影响纸牌的选择偏向。由于 IGT 中的决策加工需要对信息进行暂存、抑制控制和任务切换,因而也在一定程度上依赖工作记忆。IGT 的加工还需形成对每组纸牌的多次选择结果的记忆表征,并维持与更新不断变化的选择后果效价值的情绪性躯体标签,因此陈述性记忆也会参与其中。大量研究显示, IGT 的加工不仅依赖杏仁核、vmPFC 和 OFC (包括 mOFC 和 IOFC)等情绪脑网络的活动,还需要 dlPFC、海马、腹侧纹状体、岛叶皮层、pre-SMA 和扣带回皮层等许多脑区的参与。可见, IGT 是一项涉及情绪、记忆与学习、认知评价、奖赏和运动程序编制与执行等多个系统协同活动的决策任务。DA 和 5-HT 能中枢递质对 IGT 的决策加工也起调节作用,特别是 5-HTT 的基因多态性研究为 IGT 加工中模糊与风险决策相互分离的假设提供了有力证据。

躯体标记假设(SMH)作为一种解释情绪对决策影响神经生理机制的理论,在提出之初主要强调了杏仁核和 vmPFC/mOFC 的关键作用,认为杏仁核可以激发由外部环境中的情绪性事件(初级诱发刺激)引起的躯体状态,在考虑决策的即时方案时起主要作用;而 vmPFC/mOFC 则负责由记忆、知识和认知(次级诱发刺激)引发的躯体状态,主要负责评价决策方案的远期后果(Bechara & Damasio, 2005)。目前,研究者正试图基于这一假设,进一步整合来自临床脑损伤、神经功能成像和分子神经生物学等领域的研究成果,阐明与 IGT 相关决策加工的认知神经机制。Reimann 和 Bechara (2010)在总结大量证据后指出,IGT 的决策加工至少需要整合两类神经系统的功能:一类是与记忆有关的神经系统,如海马和 dLPFC,前者是陈述性记忆的关键脑区,主要形成对选择结果效价值及其动态改变的记忆表征;后者是工作记忆的关键脑区,负责提供决策考虑时的在线知识(online knowledge)和信息;另一类是与产生和接收情绪反应相关的神经系统,如下丘脑(hypothalamus)、脑干自主神经核(autonomic brainstem nuclei)、腹侧纹状体(ventral striatum, VS)、中脑导水管周围灰质(periaqueductal gray)和一些其它脑干核团,这些结构主要负责调节内环境和内脏变化、产生表情以及调控趋近和退缩行为;而岛叶皮层、后扣带回、胼胝体压部皮层(retrosplenial cortex)和顶叶内侧的楔区(cuneus region)等结构负责接受内脏和内环境变化信息的输入。另外,腹侧纹状体、ACC/SMA 负责决策行为的执行。其中,腹侧纹状体是躯体状态信号影响脑的关键作用部位,特别是接受来自迷走神经(vagus nerve, VN)和神经递质(DA、5-HT)的作用。迷走神经可以传导内脏感觉信号,DA 和 5-HT 作用于大脑可以影响皮层对行为和认知的调控。

然而,尽管 IGT 的决策加工中需要多重神经系统的参与,但杏仁核、vmPFC、mOFC、dLPFC 和海马的作用可能更关键(Reimann & Bechara, 2010; Gupta et al., 2011),它们在决策加工中的功能关系还亟待阐明。例如,杏仁核可以使个体习得对初级情绪刺激(如输钱或赢钱)的躯体性情绪标签(反馈 SCR),但这一机制只强调了杏仁核在内隐性情绪学习与记忆中的功能,还须重视在陈述性记忆中杏仁核与海马的相互作用,这也许能

提供 IGT 加工由内隐情绪向外显认知转化的解释机制;再如,vmPFC 的主要作用是诱发机体对次级情绪刺激(记忆、知识和认知)产生躯体激活,以便引导决策制定(Gupta et al., 2011),但现有研究并没有明确 IGT 加工中 vmPFC 是如何整合来自杏仁核(情绪)、dLPFC (工作记忆)和海马(陈述性记忆)的信息,以便个体利用躯体性情绪标签信号(预期 SCR)引导基于长远目标的灵活决策行为。

研究证据表明,在情绪性事件的陈述性记忆加工中,海马通过激活杏仁核可以使机体对刺激产生恰当的躯体反应,而杏仁核也可以作用于海马,导致在唤醒条件下对外显习得的情绪事件的记忆更加巩固(Gazzaniga et al., 2009)。近期研究还表明,杏仁核可以调节大脑枕-颞(自下而上)和额-顶(自上而下)的知觉与注意系统,进而影响对情绪性刺激的认知加工(Pessoa & Adolphs, 2010)。今后的研究有必要探究 IGT 加工中杏仁核与海马的功能关系,以及杏仁核对大脑皮层注意和认知系统的调制功能,阐明陈述性记忆和工作记忆与情绪加工系统的关系。我们推测,vmPFC 可能提供了一个情绪与认知进行信息交流的平台,这符合有关情感性决策需要情绪加工与认知加工相互作用的观点(Reimann & Bechara, 2010)。但是,决策与工作记忆存在功能上的不对称性,即决策加工在工作记忆障碍(dLPFC 受损)时会出现缺陷,但决策能力缺损(vmPFC 受损)时工作记忆能力却不受影响,说明决策加工过程需要工作记忆的参与,但工作记忆却不依赖于决策加工是否正常(Bechara & Damasio, 2005),提示决策加工与工作记忆并非是相互依存的,它们也有相互独立的加工成分。我们推测,决策加工中杏仁核和 vmPFC 是最为关键的脑区,而负责工作记忆(dLPFC)和陈述性记忆(海马)的脑区可能只在复杂的决策加工中起调节作用。

vmPFC 与 OFC 的功能关系也应关注。研究表明,在 IGT 任务中 mOFC 在被试维持目前选择策略时明显激活,IOFC 则在需要改变策略时有明显激活(Windmann et al., 2006),但 vmPFC 却在面对模棱两可选择情境下有明显激活(Lawrence et al., 2009)。因此,vmPFC 与内侧和外侧 OFC 的协调机制对决策策略的制定、执行和改变是至关重要的。

另外,Moeller 等人(2007)采用弥散张量成像术

(diffusion tensor imaging, DTI)检查了3,4-二甲氧基双氧苯丙胺(3,4-methylenedioxymethamphetamine, MDMA)使用者在IGT中的决策行为,发现被试胼胝体喙部(rostral body of the corpus callosum)的纵向张量值(λ_1)与IGT中有利决策行为存在显著正相关,提示在IGT的决策过程中需要两半球前部脑区的协同活动。但是,决策加工中大脑半球的功能关系还有待研究。

最后,有关情绪性躯体状态在引导决策过程的确切作用尚需提供足够的证据。一方面,在临床上需要寻求躯体与脑完全分离的病例,以验证SMH的正确性;另一方面,除了采用SCRs考查之外,还需利用心率(heart rate)、血压(blood pressure)、内脏运动(gut motility)和腺体分泌(glandular secretion)等多种外周生理指标进行系统验证(Reimann & Bechara, 2010)。

参考文献

- 蔡厚德, 刘昌. (2004). 大脑前扣带回皮层与执行功能. *心理科学进展*, 12(5), 643-650.
- 李小品, 李红, 张婷, 廖渝. (2010). 奖惩频率对3-5岁幼儿完成博弈任务的影响. *心理学报*, 42(3), 395-405.
- 李秀丽, 李红, 孙听怡. (2009). 简评爱荷华赌博任务. *保健医学研究与实践*, 6(3), 75-78.
- 刘昌. (2002). 人类工作记忆的某些神经影像研究. *心理学报*, 34(6), 634-642.
- 刘飞, 蔡厚德. (2010). 情绪生理机制研究的外周与中枢神经系统整合模型. *心理科学进展*, 18(4), 616-622.
- 庄锦英. (2003). 情绪与决策的关系. *心理科学进展*, 11(4), 23-431.
- Bechara, A., & Damasio, A. R. (2005). The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision. *Games and Economic Behavior*, 52(2), 336-372.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50, 7-15.
- Bechara, A., Damasio, H., Damasio, A. R., & Lee, G. P. (1999). Different contributions of the human amygdala and the ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of Neuroscience*, 19(3), 5473-5481.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Anderson, S. W. (1998). Dissociation of working memory from decision-making within the human prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 18(1), 428-437.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275, 1293-1295.
- Brand, M., Heinze, K., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2008). The role of strategies in deciding advantageously in ambiguous and risky situations. *Cognitive Processing*, 9(3), 159-173.
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks*, 19(8), 1266-1276.
- Brand, M., Recknor, E. C., Grabenhorst, F., & Bechara, A. (2007). Decisions under ambiguity and decisions under risk: Correlations with executive functions and comparisons of two different gambling tasks with implicit and explicit rules. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 29(1), 86-99.
- Cohen, N. J., & Banich, M. T. (2003). Memory. In M. T. Banich (Ed.), *Neuropsychology: The neural bases of mental function*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Putnam.
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science*, 351, 1413-1420.
- Damasio, A. R., Tranel, D., & Damasio, H. (1991). Somatic markers and the guidance of behavior: Theory and preliminary testing. In Levin H.S., Eichenbaum H.M., & Benton A. L. (Eds.), *Frontal lobe function and dysfunction*. New York: Oxford UP.
- Delazer, M., Zamarian, L., Bonatti, E., Kuchukhidze, G., Koppelstätter, F., Bodner, T., et al. (2010). Decision making under ambiguity and under risk in mesial temporal lobe epilepsy. *Neuropsychologia*, 48(1), 194-200.
- de Vries, M., Holland, W. R., & Witteman, C. (2008). In the winning mood: Affect in the Iowa gambling task. *Judgment and Decision Making*, 3(1), 42-50.
- Dretsch, M. N., & Tipples, J. (2008). Working memory involved in predicting future outcomes based on past experiences. *Brain and Cognition*, 66, 83-90.
- Dunn, B. D., Dalgleish, T., & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: A critical evaluation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(2), 239-271.
- Eichenbaum, H., & Cohen, N. J. (2001). *From conditioning to conscious recollection: Memory systems of the brain*. New York: Oxford University Press.
- Ernst, M., Bolla, K., Mouratidis, M., Contoreggi, C., Matochik, J. A., Kurian, V., et al. (2002). Decision-making in a risk-taking task: A pet study. *Neuropsychopharmacology*, 26, 682-691.
- Fellows, L. K., & Farah, M. J. (2005). Different underlying impairments in decision making following ventromedial

- and dorsolateral frontal lobe damage in humans. *Cerebral Cortex*, 15, 58–63.
- Gazzaniga, M., S., Ivry, R., B., & Mangun, G., R. (2009). *Cognitive Neuroscience – the Biology of the Mind* (3rd ed.). New York: W. W. Norton & Company Press, 387–394.
- Guillaume, S., Jollant, F., Jaussent, I., Lawrence, N., Malafosse, A., & Courtet, P. (2009). Somatic markers and explicit knowledge are both involved in decision-making. *Neuropsychologia*, 47(10), 2120–2124.
- Gupta, R., Duff, M. C., Denburg, N. L., Cohen, N. J., Bechara, A., & Tranel, D. (2009). Declarative memory is critical for sustained advantageous complex decision-making. *Neuropsychologia*, 47(7), 1686–1693.
- Gupta, R., Koscik, T. R., Bechara, A., & Tranel, D. (2011). The amygdala and decision-making. *Neuropsychologia*, 49(4), 760–766.
- Gutbrod, K., Krouzel, C., Hofer, H., Muri, R., Perrig, W., & Ptak, R. (2006). Decision-making in amnesia: Do advantageous decisions require conscious knowledge of previous behavioural choices? *Neuropsychologia*, 44(8), 1315–1324.
- Hartstra, E., Oldenburg, J. F., Leijenhors, L. V., Rombouts, S. A., & Crone, E. A. (2010). Brain regions involved in the learning and application of reward rules in a two-deck gambling task. *Neuropsychologia*, 48, 1438–1446.
- He, Q., Xue, G., Chen, C., Lu, Z., Dong, Q., Lei, X., et al. (2010). Serotonin transporter gene-linked polymorphic region (5-HTTLPR) influences decision making under ambiguity and risk in a large Chinese sample. *Neuropharmacology*, 59(6), 518–526.
- Kerr, A., & Zelazo, P. D. (2004). Development of ‘hot’ executive function: The children’s gambling task. *Brain and Cognition*, 55(1), 148–157.
- Lawrence, N. S., Jollant, F., O’Daly, O., Zelaya, F., & Phillips, M. L. (2009). Distinct roles of prefrontal cortical subregions in the Iowa gambling task. *Cerebral Cortex*, 19(5), 1134–1143.
- Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A., & Glimcher, P. W. (2010). Neural representation of subjective value under risk and ambiguity. *Journal of Neurophysiology*, 103(2), 1036–1047.
- Li, X. R., Lu, Z. L., D’Argembeau, A., Ng, M., & Bechara, A. (2010). The Iowa gambling task in fMRI images. *Human Brain Mapping* 31, 410–423.
- Lin, C. H., Chiu, Y. C., Cheng, C. M., & Hsieh, J. C. (2008). Brain maps of Iowa gambling task. *BMC Neuroscience*, 9, 72.
- Maia, T. V., & McClelland, J. L. (2004). From the Cover: A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the Iowa gambling task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(45), 16075–16080.
- Moeller, F. G., Steinberg, L. J., Lane, D. S., Buzby, M., Swann, C. A., Hasan, M. K., et al. (2007). Diffusion tensor imaging in MDMA users and controls: Association with decision making. *American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 33, 777–789.
- Pessoa, L., & Adolphs, R. (2010). Emotion processing and the amygdala: From a ‘low road’ to ‘many roads’ of evaluating biological significance. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(11), 773–783.
- Pfister, H. R., & Böhm, G. (2008). The multiplicity of emotions: A framework of emotional functions in decision making. *Judgment and Decision Making*, 3(1), 5–17.
- Platt, M. L., & Huettel, S. A. (2008). Risky business: The neuroeconomics of decision making under uncertainty. *Nature Neuroscience*, 11(4), 398–403.
- Reimann, M., & Bechara, A. (2010). The somatic marker framework as a neurological theory of decision-making: Review, conceptual comparisons, and future neuroeconomics research. *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 767–776.
- Remijne, P., Nielen, M., Uylings, H., & Veltman, D. (2005). Neural correlates of a reversal learning task with an affectively neutral baseline: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, 26(2), 609–618.
- Rogers, R. D., Owen, A. M., Middleton, H. C., Williams, E. J., Pickard, J. D., Sahakian, B. J., et al. (1999). Choosing between small, likely rewards and large, unlikely rewards activates inferior and orbital prefrontal cortex. *Journal of Neuroscience*, 19, 9029–9038.
- Rolls, E. T. (1999). *The brain and emotion*. New York: Oxford University Press.
- Roussos, P., Giakoumaki, S. G., Pavlakis, S., & Bitsios, P. (2008). Planning, decision-making and the COMT rs4818 polymorphism in healthy males. *Neuropsychologia*, 46(2), 757–763.
- Shrager, Y., Kirwan, C. B., & Squire, L. R. (2008). Activity in both hippocampus and perirhinal cortex predicts the memory strength of subsequently remembered information. *Neuron*, 59(4), 547–553.
- Simon, H. A. (1986). The behavioral foundations of economic theory. *The Journal of Business*, 59(4), 209–224.
- Stoltenberg, S. F., & Vandever, J. M. (2010). Gender moderates the association between 5-HTTLPR and decision-making under ambiguity but not under risk. *Neuropharmacology*, 58(2), 423–428.
- van den Bos, R., Harteveld, M., & Stoop, H. (2009). Stress

- and decision-making in humans: Performance is related to cortisol reactivity, albeit differently in men and women. *Psychoneuroendocrinology*, 34(10), 1449–1458.
- Wagar, M. B., & Dixon, M. (2006). Affective guidance in the Iowa gambling task. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 6(4), 277–290.
- Windmann, S., Kirsch, P., Mier, D., Stark, R., Walter, B., Gunturkun, O., et al. (2006). On framing effects in decision making: Linking lateral versus medial orbitofrontal cortex activation to choice outcome processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1198–1211.

Iowa Game Task and Cognitive Neural Mechanisms on Decision-making

CAI Hou-De¹; ZHANG Quan²; CAI Qi³; CHEN Qing-Rong¹

(¹ School of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(² College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

(³ School of Mathematics, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Iowa game task (IGT) is a common paradigm for examining the mechanisms on affective decision-making. Damasio and his colleagues hereby proposed the somatic marker hypothesis (SMH) to explain the neurophysiological mechanisms for the effect of emotion on decision-making. Recently, a wealth of evidence have been accumulated on whether the IGT is an ambiguous or a risky decision-making task, the relationship between emotion and cognition during IGT, and its links to working memory and declarative memory, as well as its neural network and molecular genetic mechanism. An ambiguous decision-making process could be dominant and the emotional somatic signals might play a significant role for guiding the preference for decision-making options during the early stage. However, a risky decision-making process could tend to emerge and the cognitive evaluation and expectation might gradually become dominant during the later stage. The processing for IGT has overlapping components with working memory and could also need declarative memory. IGT depend not only on activation of the emotion brain network composed by amygdala, ventromedial prefrontal cortex (vmPFC), orbitofrontal cortex (OFC), but also involve in dorsolateral prefrontal cortex (dLPFC), hippocampus, ventral striatum, insular cortex, pre-supplementary motor area (pre-SMA), cingulate cortex. The decision-making processing during IGT could be modulated by gene polymorphisms of COMT and 5-HTT. In short, the decision-making related to IGT requires the orchestration of multiple neural systems, and decisions made under ambiguity and risky may involve different genetic basis.

Key words: Iowa game task; affective decision-making; somatic marker hypothesis; ambiguous or risky decision-making; working memory; declarative memory; mechanisms of cognitive neuroscience