

从对框架效应的分析看风险决策的神经基础*

高利苹^{1,3} 李 纾² 时 勘^{1,2}

(¹沈阳师范大学人力资源开发与管理学院, 沈阳 110034) (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)

(³沈阳师范大学沈阳教育科学学院, 沈阳 110034)

摘 要 对风险决策的研究近年来一直是微观经济学和心理学的热门,但是从传统的决策理论到主张有限理性的预期理论大多是对决策行为的研究,决策的心理机制一直是无法解释的黑箱子。令人兴奋的是近几年来神经科学家及其他领域的学者开始用先进的神经心理学的方法来研究风险决策,试图理解神经过程调节风险决策行为的方式。文章从分析违背“不变性”原则的框架效应入手,从正反框架、确定选择和风险选择、风险规避和风险寻求、高估小概率事件几个方面,全面分析风险决策可能的神经基础。在总结已有研究的基础上提出了把风险决策研究扩展到不确定决策,把风险决策中的一次决策研究扩展到多次决策的研究思路。

关键词 风险决策, 框架效应, 神经机制。

分类号 C934: Q42

对风险决策的研究自上世纪一直是微观经济学研究的热门,早期研究一般从风险决策行为入手的,所做的工作是对选择的偏好现象提供比较简单的认知方面的解释。从经典的决策理论到预期理论** (prospect theory) [1]无一不是通过观察风险决策下人们的行为选择倾向,然后据此推断认知、情感、动机以及社会情境的作用。随着研究方法的不断发展,人们对风险决策理解日益深刻。为了更清晰地了解风险决策的过程,近几年来,神经科学家及其他领域的学者开始用先进的神经心理学方法来研究风险认知,试图理解神经过程调节风险决策行为的方式。

虽然利用认知神经科学技术研究决策还相对

年轻,但是已经有一些有价值的发现,例如风险决策中处理感觉、知觉和情感信息时,皮层、边缘系统以及广泛的神经调节系统会起到中介调节作用。本文主要关注的是与风险决策行为的几个候选机制相关的基础神经生理学、计算机模拟、临床神经影像学的研究,旨在对与风险决策的神经基础相关研究做一系统总结,使我们明晰风险决策在各种情境下分别会有哪些神经机制的参与,神经过程如何调节风险决策行为。为了便于理解,本文从框架效应入手介绍,结合预期理论进行分析,并在最后提出进一步研究的展望。需要声明一点,本文大多资料来自动物的研究,由于人和动物决策的基本心理过程至少部分上是可以相通的,所以,来自动物的神经科学数据可以提供有利的视角去探究风险决策心理过程下的基本神经机制。

1 框架效应: 亚洲疾病问题

Arrow认为,成为规范抉择理论所具备的基本条件之一是不变性(invariance)原则,即对一抉择问题做相等的阐述应该引出相同的偏爱顺序[2]。然而, Tversky和Kahneman借助“亚洲疾病问题”向人们显示了决策者的风险偏爱依赖于选项被如何

收稿日期: 2005-11-04

* 中国科学院“百人计划”资助项目和国家自然科学基金项目(70471060, 70573108, 70671099)。

通讯作者: 李纾, E-mail: lishu@psych.ac.cn

** Prospect Theory 曾被翻译为期望理论、视野理论、前景理论、展望理论。为了避免与“期望价值理论”(Expected Value Theory)产生混淆,同时保持该理论将人类风险决策行为的机制描述成最大限度地追求某种形式的期望(expectation)值的灵魂,本文将其改译为“预期理论”。

描述^[3], 这就是所谓的框架效应^{*}。亚洲疾病问题是框架效应的经典案例, 其中决策者被要求在生还(正面框架)或者死去(负面框架)的情景下, 对一个确定选项和一个概率(风险)选项进行选择。本文选择亚洲疾病问题进行分析基于如下两点考虑, 一是亚洲疾病问题对于关注行为决策的读者来说是非常熟悉的; 二是对于亚洲疾病问题的分析几乎可以涵盖目前对行为决策的神经基础的所有探索。该问题的译文如下:

想象美国正在对付一种罕见的亚洲疾病, 预计该种疾病的发作将致死600人。现有两种与疾病作斗争的方案可供选择。假定对各方案产生后果的精确科学估算如下所示:

正面框架:

A 方案, 200人将生还。

B 方案, 有1/3的机会600人将生还, 而有2/3的机会无人将生还。

负面框架:

C 方案, 400人将死去。

D 方案, 有1/3的机会无人将死去, 而有2/3的机会600人将死去。

分析四个选项不难看出, A和C方案是相同的确定选项, 有200人生还相当400人死去。B和D方案是一样的, 都具有一定的风险, 成功的机会为1/3, 如果成功了600人全部生还, 否则全部死去。结果显示正面框架下多数人选择A方案, 负面框架下多数人选择D方案。即人们在正面框架下表现出受益时偏爱规避风险(risk-averse preference for gains); 负面框架下表现出受损时偏爱追求风险(risk-seeking preference for losses)。预期理论为解释框架效应提供了主要的理论架构, 该理论提出了一个价值函数和一个权重函数^[1]。价值函数为S状, 受益区域为凹形, 受损区域为凸形, 受损区域的曲线比受益区域更为陡峭(见图1)。非线性的权重函数高估了肯定结果(见图2)。价值函数和权重函数的形状暗示了决策者对受损比受益更敏感, 而且两种情况下都表现出逐渐递减的边际敏感性。因此, 受益时人们一般选择肯定受益的选项而不是期望价值相等或者期望价值更大的风险选项; 受损时恰好相反,

人们一般会选择风险选项而不是期望价值相等或者期望价值更小的肯定受损的选项。

在过去的20年里, 亚洲疾病问题引发了大量考察框架效应的研究, 例如, McNeil, Pauker等人发现, 并非只有外行非专业人员会有框架效应, 即使专业人员也很容易受框架效应的影响^[4]。众多的研究者亦探究了产生框架效应的各种可能的原因。1998年, Kühberger对136篇框架效应的实证文章(包括近30,000个被试)进行了元分析, 结果显示情境间的框架效应是比较小的, 最多只能达到中等水平; 显著的差异存在于不同实验设计之间^[5]。可以说框架是一种可靠的现象, 但是结果的显著性必须与参照点操作区别开来, 而且要注意实验情境与程序对框架效应的显著影响。

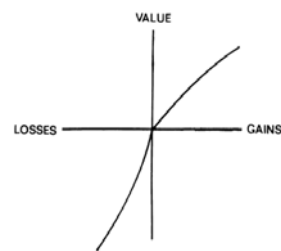


图1 假设的价值函数曲线

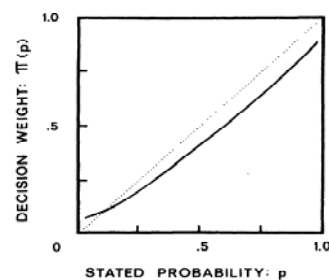


图2 π 函数曲线

(源自Kahneman和Tversky 1979年版预期理论^[1])

2 亚洲疾病的生还与死去: 正面框架和负面框架及其神经机制

框架效应显示正面框架和负面框架下, 即受益和受损两种情况下人们会有不同的行为反应。对问题的描述即框架如何影响决策者, 这些描述如何为

* 截至本文投稿日期, 刊载亚洲疾病问题的文章“The framing of decisions and the psychology of choice”被SSCI或SCI所记载的引文记录为2011篇。

大脑所表征,至今其神经作用机制仍未明确,但是是一些研究可以提供初步的参考证据。例如,Breiter等人的研究表明结果被知觉为相对是受益还是受损会影响到结果的神经加工过程。他们运用不同的轮盘赌旋转器真实地呈现几种获得和损失的结果,研究发现腹侧纹状体(ventral striatum)对金钱获得/损失的期望及经验具有调节作用^[6]。在无风险获得(确定获得)的情况下,其活动呈现清晰的单调增长;当结果被知觉为受益时,腹侧纹状体的反应比知觉为受损时要强烈。大量神经科学的研究发现与受益相关的神经为腹侧纹状体、扣带回前(ACC)、背侧纹状体(Dorsal striatum)、腹内侧前额皮质(VMPFC);与受损相关的神经为扣带回前(ACC)、杏仁核(Amygdala)和背侧纹状体。其中背侧纹状体(包括尾状核caudate nucleus)在加工体验奖赏的数量和效价方面也起着重要作用^[7]。Delgado等人发现奖赏的数量、效价与背侧纹状体活动直接相关。实验中根据被试在赌博任务中的成绩,给予不同程度的金钱奖励和惩罚,运用相关事件fMRI方法进行测量。结果显示尾状核激活的程度与奖赏的数量和效价相一致;尾状核对大的奖赏反应最大,对大的惩罚反应最小^[8]。与此类似的,Knutson等人发现,背侧纹状体区域对接受大的奖赏和惩罚的反应不同^[9]。

3 确定选择和风险选择(Sure Thing/Risk Option)的神经机制

在亚洲疾病的案例中,每种框架效应下都有确定选项和风险选项,这两种选项的内部神经机制是否相同呢?Gonzalez等人(2005)对框架效应的研究表明:具有潜在受益的风险选择需要付出的认知努力要多于确定受益的选择;而具有确定受损的选择和具有潜在受损的风险选择所要付出的认知努力是相同的,这些认知努力均定位于大脑的前额叶皮质(prefrontal cortex)和顶叶皮质(parietal cortices)^[10]。

Paulus等人(2003)发现被试在做出确定选择和风险选择时,以下区域的激活程度是不同的:后顶叶皮质(Posterior parietal cortex BA 7)、背外侧前额皮质(dorsolateral prefrontal cortex BA 9)和脑岛(insula BA 13)。风险选择比安全(受益)选择时右前脑岛的激活程度要高,但在惩罚性实验中却显示了不同的激活状态。右前脑岛对风险性的反应

激活水平越高,受惩罚后被试更倾向于相对安全的选择。风险选择与确定受损选择时相比,被试的右侧额下回(Right inferior frontal gyrus BA 44)、左脑岛(left insula BA 13)和左顶上小叶(left superior parietal lobule BA 7)相对激活程度更大。而且在风险实验中左右脑岛的激活水平越高,被试在随后的受损实验中更倾向于选择一个相对安全的选项^[11]。也就是说脑岛的激活程度与选择安全反应随后出现惩罚反应的概率有关。

与确定决策相比,风险决策的不同在于其中包括风险预期,风险预期是决策中重要的认知/情感成分。Fukui等人(2005)运用3-T扫描仪,对14个正常被试进行了事件相关电位功能磁共振成像的研究。统计参数成像表明,风险预期成分(风险性的决策—安全决策)会专门激活额内侧回(medial frontal gyrus)^[12]。目前,一些研究者主张对风险决策过程分阶段进行分析。Ernst等人(2004)运用fMRI结合运气轮任务(新开发的两个选项的决策任务,会有一定概率得到奖赏)考察决策的神经活动,并测量了在选项选择和奖赏期待两阶段中,高奖赏/高风险事件与低奖赏/低风险事件对神经活动的影响。结果发现,选择阶段所牵涉的脑区包括空间视觉注意(枕—顶通路或where通路),冲突(前扣带回anterior cingulate),量的操作(顶叶皮质parietal cortex),行动准备(运动前区premotor area),而预期阶段主要包括与奖赏过程相关的区域(腹侧纹状体ventral striatum);相对于低奖赏/风险情境来说,在高奖赏/风险情境下,腹侧纹状体在选择阶段更会有较强烈的神经反应,而在预期阶段没有;在概率奖赏的选择任务中,选择过程和预期过程有各自不同的神经环路,当然有的环路会有重叠。冒风险和等待风险决策结果对神经活动的影响,即在选择和预期阶段是不同的,而且在选择和预期阶段,风险/奖赏对一般结构(包括腹侧纹状体)的调节作用也是有区别的^[13]。

4 正面框架下的保守和负面框架下的冒险:价值函数的S状及其神经机制反映

Kahneman和Tversky的预期理论提出的价值函数曲线为S状,受益区域为凹型,受损区域为凸型,受损区域的曲线比受益区域的曲线更为陡峭^[1]。价值函数的这种形状有利于将亚洲疾病问题的受益时保守而受损时冒险的行为解释为追求某种“最大

期望”。Kahneman和Tversky同时还演示了一个有趣的决策现象,当受益区域和受损区域因改变结果的符号而相互转换时,冒险的偏爱也随之转换。他们将受益时偏爱保守而受损时偏爱冒险的相互转换称为映象效应(reflection effect)。预期理论中价值函数的曲率(Curvature)在获得和损失情况下看起来是类似的,这表明不管效价(valance)如何,价值数量(magnitude)的表征过程是有共同之处的。与这一假设相一致,来自神经科学的证据表明价值表征的神经系统是独立表征数量和效价的,至少对于体验到的结果是这样的。Yeung和Sanfey对事件相关电位的分析表明最具特色的P300事件相关电位对奖赏的数量反应敏感,而不是效价^[14]。因此,不考虑效价,神经科学的数据至少对存在只对数量反应的系统提供了支持。

在预期理论中,价值函数受损曲线比对同等程度的受益曲线要陡2~3倍,也就是说正面框架下的保守和负面框架下的冒险表现了不同框架下的损失规避。对混合的期望(受损/受益)来说,损失规避导致了明显的风险规避。从中性的角度来说,我们可以推测正面/负面期望两种不同价值体系的神经加工会影响损失规避。腹侧纹状体可能是这些信号整合的中心控制点,因为它会收到来自杏仁核、海马和前额叶皮质以及中脑的多巴胺能的信号输入,因此,腹侧纹状体会对正面和负面结果都进行编码。对与奖赏有关的学习任务来说,杏仁核和腹内侧前额皮质的损伤会明显导致风险规避的降低^[7]。

很多学者采用爱荷华赌博测验(IGT)对这种“正面框架下的保守和负面框架下的冒险”现象进行过研究。这是一个常见决策的神经心理测验,实验中在被试面前呈现了4副扑克牌,每副扑克牌的货币报酬是不一样的,被试被要求从中做出选择,从而最大化他们的全部支出。其中两副牌有负面的期望价值和高风险,另外两副牌风险小,却有正面的期望价值。Bechara等人(1996)发现,在爱荷华赌博任务(IGT)实验中,背外侧前额皮质(DLPFC)损伤的病人会表现出决策障碍,不能学会选择性的决策;腹内侧前额皮质(VMPFC)受损伤的病人在体验损失时,会表现出正常的皮肤电反应(SCR4),但是对于风险性的选择不能像正常被试那样有正常的皮肤电反应(SCRs)。他们的解释是,背外侧前额皮质受损的病人不能学会选择性的

决策,这可能反映了没有能力运用策略和规则控制行为,所以病人表现出一种紊乱的行为方式。腹内侧前额皮质(VMPFC)受损的病人在爱荷华赌博任务中表现较差,是因为他们没有发展起对爱荷华赌博任务(IGT)相对安全扑克牌(有正面期望价值)的选择偏好,所以继续进行冒险的选择(有负面期望价值)。但是被试在体验损失时有正常的皮肤电反应,表明腹内侧前额皮质(VMPFC)对损失的情绪体验不是必要的^[15]。为了进一步考察腹内侧前额皮质的作用,Fellows和Farah(2003)用IGT实验的洗牌版本做实验,其中在开始的几次实验中,与每副纸牌相联系的损失都会被遇到,因此降低了任务的反转学习。结果发现:虽然腹内侧前额皮质(VMPFC)受损的病人在标准的IGT实验中会受到妨碍,但是,他们在洗牌版本中并未表现出损伤,这表明他们的缺陷反映的是学习问题,而不是损失规避的常规调节^[16]。

同样的爱荷华赌博测验(IGT)中,杏仁核受损的病人无法学会选择不冒险的、有正期望价值的扑克牌。正常被试(控制组)从冒险扑克牌中进行选择时,会有期望的皮肤电反应,但杏仁核有损的病人不会有这种反应,也不会在损失时显示出皮肤电反应的正常增加^[17]。正常被试的神经成像结果显示对损失的预测时,杏仁核被激活。这可能更加反映出杏仁核作为害怕情境的中介和加工害怕面部表情所表现出的在加工害怕有关的刺激一般性作用^[18]。

最近,Kuhnen等发现大脑的两个区域可以决定炒股者是否会做出风险投资行为。在实验研究中,研究人员要求志愿者对两种股票和一种债券进行投资决定。志愿者在做出投资决定前被分为两组。在不知情的情况下,一个组的志愿者被派定一只极有可能价格下跌、投资失败的股票;另外一个小组被派定为极有可能价格上涨、赚钱的股票进行投资或投资相对稳定安全的债券。接着,在志愿者对投资做出一系列决定的过程中,研究人员用功能磁共振成像(fMRI)技术对志愿者的大脑进行检测,观测绘制大脑各个区域在这个决定过程中的具体活动情况。结果发现,志愿者做出失败错误的投资决定前,位于大脑中心区域的伏隔核(nucleus accumbens)特别活跃;相反,当志愿者投资债券或者收益看好的股票的时候,大脑中的“前脑岛”(anterior insula)被激活^[19]。研究人员的总结是,赌博、炒

股等风险行为和买保险一类的安全投资行为分别是由大脑中伏隔核和前脑岛两个部分决定的。如果伏隔核被激活,那么人就可能做出高风险投资行为;如果前脑岛被激活,那么人就可能做出相对稳妥安全的行为。

另有证据表明,去甲肾上腺素系统可能对损失规避很重要。众所周知,去甲肾上腺素会调节焦虑和压力,对创伤后的应激反应以及害怕记忆的巩固有重要作用。Rogers等人通过注射心得安(β -肾上腺受体阻滞剂)考察了正常人阻塞NA对决策的影响。他们给被试呈现混合的,或者单纯受益或单纯受损的赌博实验。在混合赌博中,当损失的可能性高的时候,注射80mg心得安的被试对于可能损失的数量敏感性降低;但是他们对可能获得的数量的敏感性并未受到影响。相反,注射心得安和正常控制组的被试在单纯受益的赌博中表现出同等的风险规避,在单纯受损的赌博中表现出同等的风险寻求^[20]。总之,药物会影响损失规避,其他神经递质系统的操作是否会影响损失规避有待于进一步研究。

5 高估小概率事件和低估中高概率事件及其神经机制

预期理论中权重函数是倒S形状,这反映了对小概率的高估和对中高概率的低估。预期理论的一大重要问题是为什么概率权重函数呈现这种特殊形状。一般心理物理学的解释是敏感性的降低,但也有可能反应了决策的情绪方面因素。具体来说,低估中高概率获得和高估小概率损失反映了害怕;而高估小概率获得和低估中高概率损失反映了希望。关于权重函数的神经基础现在仍不为人所知,但是可以猜测害怕与杏仁核有关,而希望与腹侧纹状体有关。另外的可能是Fiorillo观察到的在预测不确定奖赏时,与风险相关的多巴胺(DA)活动可能反映了希望。Fiorillo等人在辨别学习任务中发现多巴胺能的神经活动会随着奖赏结果概率的变化呈现单调变化。这些研究者训练猴子进行视觉辨别任务,记录得到奖赏最不肯定情况下(50%奖赏)和最肯定情况下(0%或100%奖赏)单个多巴胺神经元的活动。这些神经元会对无期望(0%)状态下的奖赏和预测奖赏(100%情境)的信号反应。多巴胺神经元对最大可能不可预知的刺激(50%情境)在延迟期间显示相位活动的单调增加^[21]。Aron等人运用fMRI在人身上得到了类似的结果^[24]。在这

项概率学习任务中,中脑(推测为多巴胺区域dopaminergic regions)的活动被随后认知反馈的预测性所调节。但是多巴胺系统不会直接对概率编码,可能会对与决策相关的风险程度进行编码。

权重函数关注的是结果概率的问题。从预期理论的角度来看,权重函数的曲率(curvature of the weighting function)(低估高概率事件,高估小概率事件)和权重函数的仰率(elevation of the weighting function)(喜欢接受风险的愿望)都与概率表征有关。最近对结果概率皮层表征的研究开始考察灵长类的眼球运动任务,这一工作主要关注外侧顶内沟区(lateral intraparietal area, LIP)。该区域会在眼球运动任务中表现出调节活动,引导眼球的快速扫视运动,而眼球的快速扫视被认为可以反映出自动计划活动。Platt和Glimcher训练猴子在个体的LIP接受区域内外做扫描运动,变化橙汁奖赏的数量和概率。当引导扫描的奖赏概率是80%时,LIP神经元的激活会大于相同运动下但奖赏概率为20%时候的激活^[22]。也就是说,个体LIP神经元的变化活动取决于一个特定的反应导致结果奖赏的概率。但是运动的振幅、潜伏期、速度并不会随结果概率的变化而变化,可见LIP神经元的运动是与特定的奖赏反应需要的概率有关。随后Sugrue等人也通过有关眼球快速扫视运动的实验确定了LIP在表征奖赏概率中的显著作用。他们训练恒河猴完成一项视力辨别任务,包括定向、延迟、快速扫视,当要求动物在与高概率奖赏和低概率奖赏相关的刺激中做选择时,就会有LIP激活的记录。LIP与接受区域的属性匹配表明:活动的差异依赖于预期奖赏的概率;而且当他们辨别力降低的时候,小概率奖赏的出现会有激励作用^[32]。需要注意的是,因为这些研究没有像变化概率一样变化数量,所以不能肯定LIP是表征概率本身,或者只是概率的函数(期望效用)。另外不清楚的是这些研究成果是否可以扩展到其他任务范围,还是只适用于眼球运动。

非线性的权重函数高估(overweighting)了小概率事件有利于将框架效应受益时保守而受损时冒险的行为解释为追求某种“最大期望”。就像艾勒本人所说的:“艾勒悖论”只是外表上的自相矛盾,它实际符合了非常深刻的心理现实——接近必然时对安全的偏好^[25]。低估(underweighting)大中概率的结果可能导致被权重的概率之和小于1,这是权重函数的另一个特色即“次确定性”

(subcertainty)。也就是说预期理论是假定人们选定的方案一定是具有了某种“最大值”的方案,即在正面框架下A的“总价值”>B的“总价值”;在负面框架下,D的“总价值”>C的“总价值”。所以在“亚洲疾病”案例中,正面框架下被试多数选A方案,负面框架下被试多数选D选项。迄今为止,几乎没有关于权重函数次确定性的神经基础证据。

6 未来研究展望

对于决策的神经基础的研究已经随着技术的进步越来越细致,但是对于复杂的风险决策行为来说,其神经机制也是很复杂的。与风险决策的行为研究不同,神经科学的研究方法可以较为直接地展示给我们风险决策的内部活动过程。当我们了解了风险决策的实际过程,就可以采用一定的方法来干预这一过程。目前来看,我们认为风险决策的神经科学研究应该首先解决以下两个方面的问题:

第一,如何解决不确定情境下的决策问题。为了研究的方便,大多数研究关注的是风险决策的问题,此时获得和损失的结果数量和概率都是决策者已知的,但是,生活中需要面对的决策问题更多是不确定情境下的。一些研究显示不确定情境下的决策符合“两阶段模型”,决策者首先会根据已有信息、经验和当时的情境估计事件发生概率,随后的过程符合风险决策规律。另外有研究显示,两阶段模型不足以解释不确定情境下的决策问题,需要有第三个阶段来重新融合模糊的估计过程,而且对于熟悉领域和陌生领域会有不同的反应。风险决策和不确定决策有什么区别,分别是如何进行的,来自神经机制水平的数据也许会回答这一问题。

第二,决策过程究竟是理性的还是非理性的,人们在做决策时到底在多大程度上进行理性的计算,这应该是触及传统决策理论的核心问题。20世纪以来的主流经济学始终坚持“理性人”假设,认为人类具有稳定而持续的偏好,人们据此做出各种理性的行为决策。在这一框架下,所有明显不合逻辑的非理性行为,也被解释为某种理性决策过程的结果。但已有研究表明,当人们对长期行为进行决策时,他们的决策行为的确符合经济学假定的“理性决策”过程;而面对短期决策,比如是否立刻进行消费活动时,可能更多为当时的情绪控制。那么期望法则是适用于一次博弈还是多次博弈?长期投资还是短期决策?2003年Li的研究显示多次博

弈是符合期望法则的,而一次博弈情境“齐当别”模型提供的解释更为合理^[26]。这可以部分地解释长期投资和短期投资的不同在于短期投资不符合期望法则。那么,认知过程和情感过程在决策中分别起多大的作用,以及如何影响决策过程应该是值得进一步探讨的重要问题,我们期望来自神经科学的研究会解答这个问题。

参考文献

- [1] ahneman D, Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 1979, 47: 263~291
- [2] Arrow K J. Risk perception in psychology and economics. *Economic Inquiry*, 1982, 20: 1~9
- [3] Tversky A, Kahneman D. The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 1981, 211: 453~458
- [4] McNeil B J, Pauker, S G, Sox, H C, et al. On the elicitation of references for alternative therapies. *New England Journal of Medicine*, 1982, 306: 1259~1262
- [5] Kühberger A. The influence of framing on risky decisions: A meta-analysis. *Organizational Behavior & Human Decision Processes*. 1998, 75: 23~55
- [6] Breiter H C, Aharon I, Kahneman D, et al. Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses. *Neuron* 2001, 30: 619~639
- [7] Trepel C, Fox C R, Poldrack R A. Prospect theory on the brain? Toward a cognitive neuroscience of decision under risk. *Cognitive Brain Research*, 2005, 23: 34~50
- [8] Delgado M R, Locke H M, Stenger V A, et al. Dorsal striatum responses to reward and punishment: effects of valence and magnitude manipulations. *Cognitive, affective behavioral neuroscience*, 2003, 3: 27~38
- [9] Kuhnen M, Knutson B. The neural basis of financial risk taking. *Neuron*, 2005, 47: 763~770
- [10] Gonzalez C, Dana J, Koshino H, et al. The framing effect and risky decisions: Examining cognitive functions with fMRI. *Journal of Economic Psychology*, 2005, 26: 1~20
- [11] Paulus M P, Rogalsky C, Simmons A, et al. Increased activation in the right insula during risk-taking decision making is related to harm avoidance and neuroticism. *NeuroImage*, 2003, 19: 1439~1448
- [12] Fukui H, Murai T, Fukuyama H, et al. Functional activity related to risk anticipation during performance of the Iowa gambling task. *NeuroImage*, 2005, 24: 253~259
- [13] Ernst M, Nelson E E, McClure E B, et al. Choice selection and reward anticipation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 2004, 42: 1585~1597
- [14] Yeung N., Sanfey A G. Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *Journal of Neuroscience*, 2004, 24: 6258~6264

- [15] Bechara A., Tranel D, etc. Failure to respond astronomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cereb Cortex*, 1996, 6: 215~225
- [16] Fellows L K., Farah M J. Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: evidence from a reversal learning paradigm. *Brain*, 2003, 26: 1830~1837
- [17] Bechara A, Damasio H, Damasio A R, et al. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. *Journal of Neuroscience*, 1999, 19: 5473~5481
- [18] LaBar K S, LeDoux J E, Spencer D D, et al. Impaired fear conditioning following unilateral temporal lobectomy in humans. *Journal of Neuroscience*, 1995, 15 (10): 6846~6855
- [19] Kuhnen C M, Knutson B. The neural basis of financial risk taking. *Neuron*, 2005, 47: 763~770
- [20] Rogers R D, Ramnani N, Mackay C, et al. Distinct portions of anterior cingulate cortex and medial prefrontal cortex are activated by reward processing in separable phases of decision-making cognition. *Biology Psychiatry*, 2004, 55: 594~602
- [21] Fiorillo C D, Tobler P N, Schultz W. Discrete coding of reward probability and uncertainty by dopamine neurons. *Science*, 2003, 299: 1898~1902
- [22] Platt M L, Glimcher P W. Neural correlates of decision variables in parietal cortex. *Nature*, 1999, 400: 233~238
- [23] Sugrue L P, Corrado G S, Newsome W.T. Matching behavior and the representation of value in the parietal cortex. *Science*, 2004, 304: 1782~1787
- [24] Aron A R, Shohamy D, Clark J, et al. Human midbrain sensitivity to cognitive feedback and uncertainty during classification learning. *Journal of Neurophysiology*, 2004: 1144~1152
- [25] Allais M. An outline of my main contributions to economic science (Nobel Lecture). *Theory and Decision*, 1991, 30: 1~26
- [26] Li S. The role of Expected Value illustrated in decision-making under risk: single-play vs multiple-play. *Journal of Risk Research*, 2003, 6: 113~124

A New Look at Framing Effects: The Neural Basis of Decision-making under Risk

Gao Liping^{1,3} Li Shu² Shi Kan^{1,2}

⁽¹⁾ School of Human Resource Development & Management, Shenyang Normal University 110034, China)

⁽²⁾ Institute of Psychology, Chinese Academy of Science, 100101, China)

⁽³⁾ College of Education, Shenyang Normal University, 110034, China)

Abstract: The study of decision-making under risk has been a major thrust of microeconomics and psychology in the last few decades. Both classical decision-making theory and prospect theory focus on the study of decision-making behavior, while the psychological mechanism under the decision-making has been in the dark. The latest and possibly most exciting frontier in this research area is the effort to understand the way in which neural processes mediate risk-taking behavior. Neuroscientists and their collaborators begin to apply modern neurophysiology methods to risk decision-making. The mechanisms and neural basis of framing effects that violate the invariance principle are presented and discussed from the following aspects: positive & negative framing, sure choice & risk option, risk aversion & risk seeking, and over-weighting low probabilities. Concluding remarks assess the future prospects of the cognitive neuroscience of decision-making under risk, such as decision-making under uncertainty and multiple play

Key words: decision-making under risk, framing effect, neural mechanism.