

# 睡眠剥夺影响风险决策的双系统模型探讨\*

李爱梅<sup>1</sup> 谭磊<sup>1</sup> 孙海龙<sup>1</sup> 熊冠星<sup>1</sup> 潘集阳<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>暨南大学管理学院; <sup>2</sup>暨南大学附属第一医院睡眠医学中心, 广州 510632)

**摘要** 睡眠剥夺是指由于环境或自身原因无法满足正常睡眠时间的情况。大量实证研究发现, 睡眠剥夺会导致个体在风险决策中更倾向于风险寻求, 同时也有研究表明睡眠剥夺会导致个体风险规避, 而目前尚无统一结论。睡眠剥夺从风险感知、风险容忍、风险决策策略三个方面影响了风险决策, 其心理机制可由认知和情绪双路径模型进行解释, 且脑神经生理学研究也提供了相关证据。未来的研究应该进一步关注: (1)现实工作中的睡眠不足对风险决策的影响; (2)睡眠剥夺影响风险决策的理论模型建构。

**关键词** 睡眠剥夺; 风险感知; 风险容忍; 风险决策; 决策双系统

**分类号** B849:C91

## 1 引言

睡眠作为机体的基本生理和心理需要, 不仅能促进机体生长发育, 维持机体生存, 而且能维持注意、记忆、学习等认知功能的正常(Walker & Stickgold, 2006)。而在现实中, 往往存在由于环境或自身原因无法满足正常睡眠时间的情况。研究者通常在实验室通过睡眠剥夺(Sleep Deprivation, SD)来研究这种现象。根据剥夺的睡眠时间不同, 睡眠剥夺可分为完全睡眠剥夺(Total sleep deprivation, TSD)和部分睡眠剥夺(Partial Sleep Deprivation, PSD), 前者是指在睡眠剥夺过程中被试始终处于觉醒状态; 后者是指睡眠时间少于正常睡眠时间的50%, 或者是在整个睡眠过程中针对性地减少某些睡眠时相, 使总睡眠时间减少(Orzeł-Gryglewska, 2010)。相对来说, PSD在现实生活中更为常见, 主要表现为睡眠不足, 特别是在需要倒班的工作领域, 如医生、司机等与社会安全息息相关的行业(Christian & Ellis, 2011)。

研究发现, 睡眠剥夺会引起情绪、学习记忆、

免疫功能等一系列的心理变化, 伴随睡眠剥夺时间的增加会引起个体生理、心理甚至行为的变化(Banks & Dinges, 2007)。还有研究发现, 睡眠剥夺会影响风险决策。具体表现为影响个体的风险感知(Harrison & Horne, 1998)、风险容忍(Frings, 2012), 且伴随着被试消极情绪增加, 无法从决策结果中获得经验学习(Kaida & Niki, 2014), 以至于无法根据经验和实际情况调整风险决策策略(Vartanian et al., 2014)。

风险决策作为一种不确定性决策, 人们对风险的感知和对风险的容忍, 以及在风险决策中所采取的决策策略都会影响风险决策行为。睡眠剥夺究竟是如何影响人们的风险决策的呢? 有研究认为相较于正常睡眠状态, 在睡眠剥夺状态下, 被试更倾向于风险寻求(Venkatraman, Huettel, Chuah, Payne, & Chee, 2011; Bayard, Langenier, & Dauvilliers, 2013); 而另有研究证明睡眠剥夺会引发个体产生焦虑情绪(Goldstein et al., 2013), 而焦虑会促使个体更倾向于风险规避(Raghunathan & Pham, 1999)。可见, 睡眠剥夺究竟会导致个体风险寻求还是风险规避尚没有一致的结论, 是一个值得进一步探索的课题; 而且, 以往探究睡眠剥夺对风险决策影响的研究, 大多从认知路径或某种单一情绪对其进行研究, 并未综合认知和情绪的双系统角度来探讨睡眠剥夺对风险决策的影响。而决策的双系统模型认为, 认知和情绪既可

收稿日期: 2015-09-28

\* 国家自然科学基金项目(项目编号: 71271101, 71571087), 广东省人文社科研究基地“企业发展研究所”基金和重点项目育题基金支持。

通讯作者: 孙海龙, E-mail: shl428@163.com;

李爱梅, E-mail: tliaim@jnu.edu.cn

以单独作用于决策行为,也可以通过认知与情绪的交互作用影响决策行为。因此,我们从心理和行为层面,首先系统梳理了睡眠剥夺对风险感知、风险容忍和风险决策策略的影响,进而从认知和情绪两条路径揭示了睡眠剥夺影响风险决策的心理机制,最后提出睡眠剥夺影响风险决策的理论模型。

## 2 睡眠剥夺对风险决策的影响

早期睡眠剥夺的研究认为,睡眠剥夺仅影响个体的低级认知功能,而决策等高级认知功能不受睡眠剥夺的影响(Pilcher & Huffcutt, 1996)。然而,随着睡眠剥夺研究的深入,越来越多的研究强有力地证明,睡眠剥夺同样会影响人类决策等高级认知功能,如通过影响风险感知或风险容忍来影响决策行为(Harrison & Horne, 1998; Hunter, 2006; Frings, 2012)。

### 2.1 睡眠剥夺影响风险感知

风险感知是指个体对存在于外界的各种客观风险的感受和认识,强调个体由直观判断和主观感受而获得的经验对个体风险感知的影响(谢晓非, 徐联仓, 1995)。Roszkowski 和 Davey (2010)认为风险感知包括对情境不确定性的概率估计、对情境可控性的评估以及对这些估计的信心度,其关键是确定潜在结果的相对风险水平(例如,确定一个选项比另一个选项具有更大或更小的风险)。已有研究表明:风险感知可以预测风险行为,研究结果在吸毒、经济决策、健康和安全决策等许多情境中得到验证(Roszkowski & Davey, 2010; Mishra, Barclay, & Lalumière, 2014)。

许多研究发现,睡眠剥夺会降低风险感知。具体表现为睡眠剥夺后,个体对收益更为敏感,更关注收益的最大化,而对损失的敏感度降低,即睡眠剥夺降低了个体感知风险的能力(Harrison & Horne, 1998; Banks, Catcheside, Lack, Grunstein, & McEvoy, 2004)。Harrison 和 Horne (1998)使用爱荷华赌博任务(Iowa Gambling Task, IGT)研究睡眠剥夺后被试的风险决策行为。IGT 包括 A、B、C、D 4 副牌,每副 30 张, A、B 两副牌中每张牌的固定收益为 100 美元,但 A、B 每张牌潜在损失不确定,总体而言在 A、B 牌中选 10 张的损失为 1250 美元(固定收益为 1000 美元),即每选 10 张牌其净收入为-250 美元。而 C、D 每张牌的固定

收益为 50 美元,每张牌同样存在不确定的损失,总体而言在 C、D 牌中选 10 张的损失为 250 美元(收益为 500 美元),即每选 10 张牌其净收入为 250 美元。因此,从长远来看, A、B 是差牌(bad decks), C、D 是好牌(good decks)。实验前告诉被试:任务目标是尽可能多的赢钱,任何一张牌的收益固定但是损失不确定。研究结果表明,面对高收益时,睡眠剥夺者较少在乎负面后果,更倾向于风险寻求。随着实验的进行,控制组学会了避开差牌,偏好于选择好牌,且最终能获得较高的净收益,但实验组则继续选择高风险牌。研究者认为,这是因为睡眠剥夺改变了个体的风险感知能力。Banks 等人(2004)通过汽车驾驶模拟器也证明了睡眠剥夺影响了个体的风险感知能力。具体而言,被试经历部分睡眠剥夺后,其风险感知能力下降,他们还发现男性下降程度比女性更大;同样在该研究中发现,被试饮用 1 毫升浓度为 50% 的酒(在当地法律规定的水平以内)后其风险感知能力下降得更多了。而已有研究证明在睡眠剥夺的情况下,即使是驾驶经验丰富的司机,其行为绩效也仅仅相当于中等程度酒精中毒后的水平(Williamson & Feyer, 2000)。因此可以推测,睡眠剥夺会显著地降低个体的风险感知能力,导致个体风险决策绩效下降。

总之,睡眠剥夺后,个体注意视角变窄,对收益或奖赏的敏感性提高,而对风险敏感性降低,风险感知相对下降。睡眠剥夺可能导致个体主观感知到的风险下降,进而导致在风险决策中倾向于风险寻求。但是风险感知是如何影响风险决策行为的,其心理机制如何并不清楚,下一阶段可进一步探讨。

### 2.2 睡眠剥夺影响风险容忍

风险容忍(Risk Tolerance)是指个体为了实现某种特定目标而愿意接受风险的程度(Hunter, 2006),作为风险决策的一个预测变量,近年来受到心理学家的广泛关注(Ji, You, Lan, & Yang, 2011)。金融领域的研究表明,风险容忍与风险寻求行为之间呈显著的正相关关系,即具有较高风险容忍的投资者更多地倾向于高风险投资(Sahm, 2012)。睡眠剥夺者更加风险偏好并非因为其没有感知到情境中的风险,而是因为其更能容忍风险(Frings, 2012)。

Frings (2012)运用 21 点赌博任务(Black-Jack

Style Card Game)进行实验研究发现,睡眠剥夺后个体在风险决策中更倾向于风险寻求,研究者认为其中的原因是风险选项吸引力变大,也就是个体可接受风险的程度变大了,风险容忍度变大。21点赌博任务中,主试先给自己及每个被试各发两张牌,一张牌面朝上,一张牌面朝下,被试拿到两张牌后,先计算自己的点数,然后决定是否继续要牌。实验中每个被试完成12次21点赌博任务,任务分为高风险和低风险两种,高风险任务中,被试赢的概率低于0.50;低风险任务中,被试赢的概率皆高于0.50。结果发现,随着赌博任务客观风险的增加,实验组被试不会像控制组那样减少赌资的投入,即实验组的被试更加倾向于风险寻求。研究者进一步分析发现,经历睡眠剥夺后,被试评估的风险与客观风险并无显著差异,而导致其更为风险偏好的原因在于其对风险的可接受性更高,对于风险的态度更为包容。Venkatraman, Chuah, Huettel 和 Chee (2007)通过自己设计的赌博任务研究同样发现,经历24小时睡眠剥夺后,被试对收益的期待提高了,即其风险容忍度提高了。

由此可见,在面对高风险、高收益选项时,睡眠剥夺的个体,虽然感知到了高风险,但是高收益会提高选项的吸引力,提高个体风险容忍的阈限,进而导致个体在风险决策中,更倾向于风险寻求。然而在Frings (2012)的实验中,虽然测量了实验组和控制组的风险感知水平,其结果表明两组被试的风险感知与客观风险相一致,然而并未比较两组被试之间的风险感知能力及其感知到的风险是否存在差异。未来的研究可以同时探讨睡眠剥夺后,实验组和控制组的风险感知能力,并比较两组被试之间的风险感知水平是否存在差异,以证明睡眠剥夺会同时影响风险感知和风险容忍,并最终影响风险决策。

### 2.3 睡眠剥夺影响风险决策策略

在实验室情境中,一般都是运用赌博任务模拟现实风险决策场景,经过多次的选择来考察被试的决策行为,在完成任务的过程中,决策策略的选择至关重要。Harrison 和 Horne (1999)运用自己设计的市场策略模拟游戏(Master planner)进行实验研究发现,睡眠剥夺后,被试无法形成创造性策略进行决策。被试在任务中最主要的目标是通过协调各种因素,提升市场占有率,创造利润。

完成 Master planner 任务不仅要求被试本身的创新能力,还要求其在完成任务的过程中不断地学习,记住变化的事件。经过36小时的睡眠剥夺后,实验组被试在任务过程中的正确决策越来越少,而且愈加相信先前成功的决策策略(已然不再适用当前的情况),无法根据当下的紧急情况调整决策策略,进而破产。相比之下,控制组表现良好。实验表明,虽然睡眠剥夺后,被试仍能够理解 Master planner 提供的实际材料,但是却无法建设性、创造性地利用这些信息来制定合适的风险决策策略进行决策。

此外,在Harrison 和 Horne (1998)的IGT实验中,实验进行至80张牌之后,在被试不知情的情况下,重新调整了牌的收益和损失属性,迫使被试重新思考、调整策略。而结果显示,实验组没有调整相应决策策略,仍继续选择高风险牌;而控制组迅速地意识到了变化,并及时改变决策策略,避开高风险牌。Killgore, Balkin 和 Wesensten (2006)运用 IGT 研究睡眠剥夺对决策的影响,结果发现,经历49小时的睡眠剥夺后,被试的IGT成绩明显下降。综上所述,睡眠剥夺后,个体风险决策策略保守且不能从经验中习得规律,就算先前策略不再适用于当下情况,也依然不能运用创造性思维调整决策策略,进而导致严重负面后果。但睡眠剥夺影响风险决策的内在机制仍不清楚,值得未来研究进一步探讨。

## 3 睡眠剥夺对风险决策影响的双系统模型解析

Epstein (1994)认为人们在对风险进行判断时存在两种信息加工系统:一种是分析性的理性决策系统;一种是自动化的经验决策系统。虽然不同领域的学者用不同的称呼来命名大脑中的双系统,但是总体而言对于大脑内双系统的理论观点是基本一致的——前者需要意识参与,主要依靠逻辑规则和概率计算做出决策,相对较慢,是一个认知决策过程;后者不太需要意识的参与,主要依靠经验或事物之间的联结做出决策,相对较快,情绪在其中发挥主要作用(孙彦,李纾,殷晓莉,2007; Kahneman, 2011)。本文同样认为睡眠剥夺是通过认知和情绪双路径来影响风险决策。

### 3.1 认知因素

风险决策是一项复杂的认知活动,包括信息

编码、评价、行为以及结果评估阶段,需要注意、感知、记忆、思维等各种认知能力协同作用。睡眠剥夺对认知因素的影响研究集中于注意、警觉、记忆、思维等(Killgore et al., 2006)。

研究表明,24小时的睡眠剥夺之后,被试注意力分散,无法完成信息快速变化的高认知水平任务(Jugovac & Cavallero, 2012)以及警戒任务(Kong, Asplund, Ling, & Chee, 2015)。同样地,在Harrison和Horne(1999)的Master planner实验中,经历24小时睡眠剥夺的被试无法有效甄别复杂性持续增长的情境,而且总是耗费更多的精力在与决策任务无关的领域,以致于任务失败。由此可见,睡眠剥夺后个体的注意力分散、注意视角变窄,可能导致个体在风险决策过程中,只能顾及收益而不能看到伴随的高风险,导致风险感知相对下降。

此外,记忆也是风险决策过程中的重要认知因素,包括工作记忆、时序记忆和前瞻记忆。工作记忆与IGT决策成绩呈正相关(Bechara, Damasio, Tranel, & Anderson, 1998)。而睡眠剥夺会损害工作记忆能力,Luber等(2013)运用fMRI研究了睡眠剥夺对工作记忆的影响,他们发现睡眠剥夺后执行工作记忆任务时,前额叶区域激活减弱,工作记忆容量下降。这可能会导致被试在风险决策过程中,加工信息的能力下降。睡眠剥夺还影响时序记忆(Temporal Memory),Griessenberger等(2012)的研究发现,经历3天的部分睡眠剥夺后,个体的时序记忆显著下降,睡眠剥夺导致对现实生活的影响可能会是很难记住一系列事件、命令、指导以及见面的顺序。Grundgeiger, Bayen和Horn(2014)发现睡眠剥夺后,被试前瞻记忆任务绩效下降,导致被试无法执行本打算要去做的事情,这将带来严重的后果。此外,Kong等(2015)表明,经历睡眠剥夺的被试,其加工模糊信息的能力下降、更加不自信,而且更愿意改变自己的记忆。Frenda, Patihis, Loftus, Lewis和Fenn(2014)的一项24小时完全睡眠剥夺实验研究发现,睡眠剥夺会提高错误记忆形成的几率,特别是事件编码过程发生于睡眠剥夺过程中时,错误记忆会显著增加。由此可见,睡眠剥夺后个体出现记忆紊乱,与决策息息相关的工作记忆容量下降、与计划任务相关的时序记忆混乱,会导致个体处理模糊信息的能力下降,无法及时回忆所有的信息进行有效

的编码加工;而错误记忆的形成更可能误导个体风险决策,进而导致其在面对风险决策时更倾向于采取启发式策略,最终影响风险决策。

Vartanian等(2014)报告了睡眠剥夺对计划任务的影响,该任务要求被试忽视先前的成功策略,并采用新方法来做成功的决策。结果显示,睡眠剥夺后,个体的决策策略表现出显著的保守性,无法根据新信息改进原先的策略,尽管原先的策略早已不再适用。Mullette-Gillman, Kurnianingsih和Liu(2015)的研究同样证明了这一点。也就是说,经历睡眠剥夺后,被试表现出显著的思维保守、僵化,缺乏积极思考,也无法形成创造性的问题解决策略。

### 3.2 情绪因素

睡眠剥夺会影响个体的情绪和情绪加工功能,影响风险感知和风险评估,并最终影响人们的判断与决策(Dolcos, Iordan, & Dolcos, 2011; Minkel et al., 2012)。现有研究表明,睡眠剥夺带来的情绪变化通常表现为:愤怒、焦虑和消极情绪增强(Harrison & Horne, 2000; Goldstein et al., 2013; Kaida & Niki, 2014);还有研究表明睡眠剥夺对情绪信息加工能力有严重的影响;更有甚者,睡眠剥夺可能会加强个体体验消极情绪的倾向(Kahn, Sheppes, & Sadeh, 2013)。Pilcher和Huffcutt(1996)的研究发现睡眠剥夺对情绪具有负面影响,而且其对情绪的影响比对认知绩效的影响更为显著。而消极情绪如何影响风险决策,目前尚无统一结论。情绪维持假说(Mood Maintenance Model)认为,处于消极情绪状态的个体更倾向于风险寻求,增加获得收益的机会,以期产生积极的情绪,改变原有的消极情绪状态,呈现风险偏好倾向(Isen, 2008)。心境修复假说(Mood Repair Hypothesis)同样认为处于消极情绪状态的个体将主动采取让自己感觉更好的决策以修复或改变当下的消极情绪状态(Hess, Kacen, & Kim, 2006)。即个体处于消极情绪状态时,倾向于风险寻求,以期获得高收益而改善当下的消极情绪状态。

但与此相反,情绪泛化假说(Affective Generalization Hypothesis)认为,个体处于消极情绪时,认为风险事件发生的概率会增大;处于积极情绪时,则认为风险事件发生概率减小(Johnson & Tversky, 1983)。显然,根据情绪泛化假说,个体处于积极情绪时,其风险寻求行为增加。由此可

见,关于消极情绪对风险决策的影响,至今尚无统一的结论,而其关键在于区别分析具体的消极情绪。在具体情绪层面,睡眠剥夺带来的消极情绪多为愤怒和焦虑(Goldstein et al., 2013)。

### 3.2.1 愤怒

研究表明愤怒会导致个体更加风险寻求(Bachoo, Bhagwanjee, & Govender, 2013)。DADE模型(the Different Affect-Different Effect Model)认为不同的情绪体验传递不同的信息,会引导个体做出不同的决策。其认为愤怒是在人们受到拒绝、侮辱、不公平的待遇,或遇到障碍的情绪体验,从而引发个体想要获得补偿、重获自尊的内隐动机,因此愤怒情绪状态下的个体倾向于选择高收益选项,即愤怒情绪下的个体在风险决策中倾向于风险寻求(Raghunathan & Pham, 1999)。

此后, Lerner 和 Keltner (2000)提出 ATF 理论(Appraisal Tendency Framework),为研究具体情绪对风险决策的影响提供了一个新视角。该理论认为,每种具体情绪都有其相应的认知评价维度和核心评价主题,会形成一种评价倾向,而评价倾向会影响随后考虑事件的内容和深度,从而对风险决策产生不同的影响。他们认为愤怒情绪多是由于个体面临侵犯时想获得赔偿或者自尊,倾向于认为自己可以控制事件的发展,且事件的风险是确定的,加工方式倾向于采用启发式,较少注意细节,易于诱发高控制、高确定性的情感联结(Lerner & Tiedens, 2006)。而风险感知和风险容忍是由确定性和可控性所决定的,因此愤怒情绪会对其产生影响。个体高控制感、高确定的情感联结,容易导致个体降低风险感知。此外,其对补偿的获得以及自尊的需要又会提高其风险容忍,进而共同导致其在风险决策中更倾向于风险寻求。

### 3.2.2 焦虑

焦虑(Anxiety)通常分为状态焦虑(State-anxiety)和特质焦虑(Trait-anxiety)两种类型,其中前者指的是“当前环境诱发的暂时性焦虑水平提高”,而后者指的是“在焦虑易感性方面的气质性差异”(Ursache & Raver, 2014)。Goldstein 等(2013)研究表明,经历睡眠剥夺后,被试的状态焦虑水平显著升高。Butler 和 Matthews (1987)指出,高特质焦虑者总是倾向于高估未来的潜在风险,即其风险感知提升了。而 Eisenberg, Baron 和 Seligman (1998)证实,高特质焦虑水平可以预测人们在风

险决策中的风险规避行为。Raghunathan 和 Pham (1999)将焦虑对风险决策的影响扩展到状态焦虑范围,他们使用诱发情绪法提高被试的焦虑水平,其结果发现,被试的焦虑水平提高后,其更愿意选择低风险、低收益选项,即更加的倾向于风险规避。

Raghunathan 和 Pham (1999)认为,情绪状态会影响决策的动机,高焦虑者的决策可能更倾向于情绪取向。具体来说,由于高焦虑者对消极结果的感受比一般人更强烈,他们表现出的风险规避倾向,可能并不是为了回避失败本身,而是为了避免失败给自己的情绪造成强烈刺激。根据这一观点,高焦虑决策者所表现出的风险回避倾向,是受到情绪取向因素影响的结果。从焦虑角度来看,焦虑可能不仅改变了个体的风险感知,而且更可能降低了个体风险容忍,以至于在风险决策中倾向于风险规避。

由此可知,睡眠剥夺会导致个体负性情绪增加,尤其是愤怒和焦虑情绪。个体的愤怒情绪增高,引发个体高控制、高稳定性的情感联结,更倾向于采用启发式策略,而情感启发式对概率不敏感而对可能性敏感(Slovic, Peters, Finucane, & MacGregor, 2005)。睡眠剥夺会使个体风险容忍度提高;由于高控制感,个体的风险感知会更低。以至于在愤怒个体在风险决策中,倾向于风险寻求。而焦虑个体则由于比正常个体更担心消极后果,其风险容忍度降低,导致在风险决策中倾向于风险规避。

尽管大量文献表明睡眠剥夺期间,心境持续下降,然而直到近期,都很少有研究聚焦于睡眠剥夺期间情绪加工的具体方面,如情绪感知、控制、理解以及表达(Kaida & Niki, 2014)。睡眠剥夺导致的情绪加工变化对各种高级认知过程有深远的影响,包括记忆、判断与决策。未来研究可以深入探讨睡眠剥夺对具体情绪加工方面的影响及其对风险决策的影响。此外,研究者一般将情绪维度分为效价(积极情绪、中性情绪以及消极情绪)、稳定性和强度。然而,目前睡眠剥夺领域对的情绪的研究,只涉及到了效价及其对风险决策的影响,而睡眠剥夺对情绪稳定性及情绪强度却鲜有研究涉及。因此,未来的研究可以探讨睡眠剥夺对情绪稳定性和情绪强度的影响,及其对风险决策的影响;此外,还可探讨不同睡眠剥夺时

间对情绪的不同影响,以进一步丰富睡眠剥夺影响风险决策的内在机制研究。

#### 4 睡眠剥夺影响风险决策的神经机制

已有研究表明,风险决策加工遵循双系统工作路径,一种是认知分析系统,另一种是情感启发系统(Epstein, 1994; Kahneman, 2011)。青少年较之于成年人更倾向于风险偏好的原因是大脑两个神经生物系统(社会情感系统(Social Affective System)和认知控制系统(Cognitive Control System))作用程度不一致的结果(Casey, Jones, & Somerville, 2011; 张颖, 冯廷勇, 2014),在脑神经层面印证了双系统模型。近年来,睡眠领域也开始探讨睡眠剥夺对神经系统的影响。

##### 4.1 情感启发系统的神经机制

情感启发系统相关脑区主要为奖赏网络脑区,包括杏仁核(Amygdala)、伏隔核(Nucleus Accumbens, NAcc)、纹状体(Striatum)、眶额叶皮层(Orbitofrontal Cortex, OFC) (Dolcos et al., 2011)。睡眠剥夺后,奖赏网络相关脑区激活程度增强,表现为对高收益的预期增强(Venkatraman et al., 2007);另外,情感启发系统对概率不敏感,而对可能结果敏感(Slovic et al., 2005),个体可能因此而忽视高风险,而只注重高收益。

杏仁核与情绪、奖赏加工密切相关,且被视为决策过程中“冲动系统”或“感觉寻求”的一部分(Bechara, 2005),会诱发对即时奖赏的情绪反应。杏仁核激活增强与被试选择高收益选项相关,同时伴随对后悔情绪的规避(Coricelli et al., 2005)。而睡眠剥夺会导致杏仁核激活程度增强,如 Yoo, Gujar, Jolesz 和 Walker (2007)研究发现经历 36 小时完全睡眠剥夺后,被试面对中性刺激和负面刺激时,其杏仁核激活程度显著高于正常休息的被试激活程度。由于杏仁核与情绪、奖赏密切相关,因此,睡眠剥夺后杏仁核的高度激活很可能是人们在风险决策过程中强烈感觉寻求、奖赏敏感以及后悔规避的重要神经基础,所以其激活程度增强会造成对高收益的期待与选择,以及对高风险和负面后果的忽视,提高风险容忍,进而造成在风险决策中的风险偏好。

纹状体则是奖赏网络的核心区域(Liu, Hairston, Schrier, & Fan, 2011)。从奖赏预期评估到奖赏结果体验以及奖赏的大小感知,纹状体和

伏隔核都起了重要的作用。已有研究发现风险寻求倾向青少年在获得奖赏结果时,纹状体的激活要强于成人和儿童(van Leijenhorst et al., 2010; Chein, Albert, O'Brien, Uckert, & Steinberg, 2011),且纹状体的激活强度与青少年风险行为呈正相关(Figner, Mackinlay, Wilkening, & Weber, 2009)。而与此同时,研究表明健康被试在经历睡眠剥夺后,在面对奖赏结果时,其纹状体激活程度显著增强,表现为对高收益的期待,进而导致风险寻求(Venkatraman et al., 2007; Gujar, Yoo, Hu & Walker, 2011)。由此可见,睡眠剥夺后,人们的纹状体和伏隔核激活程度显著增强,对奖赏的敏感性上升,表现为对预期奖赏的期望,提高了个体风险容忍度,进而导致睡眠剥夺者更加倾向于风险寻求。

眶额叶皮层是奖赏网络中的皮层上组织,在调节刺激物的奖赏效应、编码预期结果的价值以及在冲动控制上具有非常重要的作用,特别是对惩罚的大小具有较高的敏感性(Elliott, Newman, Longe, & Deakin, 2003)。研究表明睡眠剥夺后,被试在经历损失时,其 OFC 激活程度下降,学习负面后果经验的能力受损(Venkatraman et al., 2007),且会出现决策障碍或反常行为(Rogers et al., 2004)。眶额叶皮层受损会损害情绪学习能力和厌恶损失的倾向,可能是因为损害了使用情绪标记指导决策的能力,例如不利决策后的后悔情绪就是这样一种情绪标记。睡眠剥夺后眶额叶皮层激活程度的减弱可能会导致个体损失敏感性降低,进而降低风险感知并提高风险容忍,做出风险寻求决策;更有甚者,由眶额叶皮层激活减弱导致的情绪学习能力下降,会造成个体无法从负面决策结果中获取恰当的情感标记,以至于无法根据反馈指导随后的风险决策行为,即个体无法改变原有的风险决策策略,尽管策略已不再适用。

综上所述,睡眠剥夺会影响与情感启发系统相关的奖赏网络脑区,增强了与奖赏预期和奖赏结果相关脑区的激活强度,降低了与惩罚和情绪学习相关脑区的激活程度,提高了个体对高收益的期待和对高风险的容忍,且降低了个体对损失的敏感性和风险感知,进而导致个体睡眠剥夺后的风险寻求行为。更有甚者,睡眠剥夺不仅能影响情感启发系统,还会对认知控制系统造成影响。

##### 4.2 认知控制系统的神经机制

认知控制系统的主要神经功能区为前额叶

(Prefrontal Cortex)区域,涉及背外侧前额叶(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC)、扣带回皮层(Anterior Cingulate Cortex, ACC)以及与两者联系的顶叶(Dolcos et al., 2011)。决策作为高级认知功能,需要大量的复杂认知过程协同完成(例如,风险感知、风险评估、预期结果、跟踪事态发展、创新思维、工作记忆、有效沟通等),而这些认知功能协调运行,严重地依赖于大脑皮层前额叶功能的完整性(Harrison & Horne, 2000)。已有的神经心理学和脑成像研究表明此区域特别易受睡眠剥夺的影响(van Leijenhorst et al., 2010)。

背外侧前额叶与工作记忆和冲动控制密切相关(Duncan & Owen, 2000),它的不同部位与不同类型的工作记忆相联系,如DLPFC上部与客体记忆(Object Memory)有关,DLPFC下部与空间记忆(Spatial Memory)有关,DLPFC的损伤会直接影响工作记忆。研究表明,右侧DLPFC损伤的病人在IGT上表现出明显的决策障碍,研究者认为,这主要是由于DLPFC损伤会使工作记忆受损(Bechara & Martin, 2004)。Thomas等(2000)在研究睡眠剥夺对认知绩效损害的神经机制中,使用正电子发射计算机断层显像(Positron Emission Tomography, PET)来测定被试相应脑区的葡萄糖代谢水平发现,24小时的睡眠剥夺后被试的DLPFC中葡萄糖代谢水平显著下降;随后Thomas等(2003)又表明,经历48小时和72小时的睡眠剥夺后,被试DLPFC中葡萄糖代谢水平同样下降了,且睡眠剥夺时间越长,DLPFC激活程度呈现持续下降趋势。

此外,脑成像研究表明睡眠剥夺会引起腹内侧前额叶(Ventromedial Prefrontal Cortex, VMPFC)激活程度增强,该区域是储存和标识未来结果价值的脑区,其激活增强导致个体在风险决策中,对收益的期待增强;此外,在决策阶段,睡眠剥夺会导致前扣带回(Dorsal Anterior Cingulate)激活增强(van Duijvenvoorde et al., 2015),扣带回对认知控制的作用是探测错误以及监控反应冲突。这表明睡眠剥夺后,个体需要更多的努力来解决最大化预期价值和最小化后悔情绪之间的冲突;在决策后,脑岛(Insular)的激活程度减弱,导致个体对损失的敏感性降低(Venkatraman et al., 2007)。已有关于睡眠剥夺的神经机制均支持了睡眠剥夺会导致风险寻求,但是现实生活中有一类睡眠剥夺引发的焦虑抑郁患者,而焦虑个体在风险决策

中的显著特征是风险规避,其决策行为多表现为风险规避,其神经机制究竟是什么值得深入探讨。

## 5 研究展望

虽然睡眠剥夺对风险决策的研究已经取得丰富的成果,如明确了睡眠剥夺对个体风险感知、风险容忍以及风险决策策略的影响,但仍存在不少问题值得探讨。现实生活中,随着人类生活节奏不断加快,在生活的压力下,个体的睡眠时间越来越短,长期处于部分睡眠剥夺状态,这是否会对个体风险决策产生影响?从睡眠剥夺对风险决策的影响机制的情绪路径来看,睡眠剥夺是如何影响风险行为的,是使得个体更倾向风险规避还是风险寻求等问题仍存在争议,未来的研究可以从以下几个方面进行探索。

### 5.1 现实工作中的睡眠不足对风险决策的影响研究

上文中所述睡眠剥夺的研究都在实验室进行,而对实践领域鲜有涉及,那么现实生活中的睡眠不足对决策有什么样的影响?从某种程度上讲,心理学研究的最终目的就是研究成果应用于实践,解决现实问题。根据2006年中国6城市普通人群失眠状况调查报告显示:2006年中国北京、广州等6城市的成年人在过去12个月中平均失眠发生率为57%,其中广州68%居第一;有66%的被调查者报告其职业活动受到影响。而美国对员工的调查同样显示,过去30年全职员工工作时间不断增加,其睡眠时间则不断减少(Knutson, van Cauter, Rathouz, DeLeire, & Lauderdale, 2010)。更有甚者,全职员工比兼职人员更易遭受睡眠不足(Swanson et al., 2011),当全职员工感知到其没有足够的时间用于个人及家庭事务时,他们倾向于选择缩短睡眠时间以满足个人及家庭需要。而且据美国睡眠障碍研究中心调查表明,就睡眠不足造成的事故和生产损失两方面来看,睡眠不足每年对美国经济造成1500亿美元的损失(National Center on Sleep Disorders Research, 2003)。现如今,有越来越多的职业需要在睡眠不足的情况下继续工作,各种睡眠障碍性疾病日益成为一个突出的医疗及公共卫生问题而得到人们的关注。Killgore, Lipizzi, Kamimori和Balkin(2007)研究表明,睡眠剥夺后,就算是辅助咖啡因的服用,也无法逆转睡眠剥夺对个体决策能力的损害。那么现实生活



工作中, 由于工作任务多、工作压力大, 抑或是睡眠障碍导致的睡眠不足会如何影响风险决策呢? 由睡眠不足导致的巨大损失是否与风险决策相关呢?

此外, 不同人群的工作压力及面临的决策问题都不同, 考虑到经理人比普通员工需要处理的事务更多, 其工作压力更大, 可能导致更少的睡眠时间; 而同时, 决策贯穿着管理的全过程, 管理就是决策(Simon, 1987), 所以经理人需要做出更多的决策。那么, 睡眠不足的经理人是是否就更加的冒险偏好呢? 其是否面临着更严峻的挑战呢? 风险决策是一种复杂的心理过程, 很多因素都会影响到决策结果; 那么, 从现实角度出发, 以系统的方式追踪研究现实工作生活中睡眠不足对个体风险决策的影响及其机制, 无论是在理论上还是实践上都具有一定的意义。

## 5.2 睡眠剥夺影响风险决策的理论模型

风险决策是一种复杂的认知活动, 需要各种认知技能协同作用(Harrison & Horne, 2000)。睡眠剥夺对风险决策的影响很可能也是多方面影响的产物, 用单一的因素是难以有效解释的。

行为决策研究者通过大量研究发现, 在判断和决策的过程中, 人脑是遵循双系统模式来进行信息加工的(Epstein, 1994; Kahneman, 2011)。肖前国、罗乐和余林(2009)认为: 双系统模型的一个基本前提假设就是系统1和系统2是两个相互独立而且相“对应”的加工系统, 而这个前提可能是存在问题的。Dolcos等(2011)研究表明, 认知与情绪本存在交互: 一方面, 情绪会影响感知、注意、记忆等认知过程; 另一方面, 认知对情绪加工过程存在显著影响。

Bechara等(1998)认为, 决策不仅仅是一个认知过程, 而是包括输入情绪或动机相关的反馈等大量信息, 而后对其进行认知加工的过程。此外, Kuo, Hsu和Day(2009)研究表明, 信息表征方式会造成情绪变化, 而此种情绪变化反过来又会造成认知策略的改变, 进而影响决策。睡眠剥夺造成的情绪变化和认知加工变化之间是否存在交互而进一步影响风险决策? 肖前国等人(2009)还指出应注重研究情绪在推理与决策判断中的作用, 而目前有关睡眠剥夺对风险决策影响并无定论, 所以可以从具体情绪角度对其进行研究。未来研究应在此基础上深入探讨由睡眠剥夺带来的具体消极情绪, 及其直接对风险决策的影响, 以期进

一步解决目前无法统一解释的情况。关于睡眠剥夺对脑功能的影响研究表明, 皮层组织对皮层下组织是自上而下的控制管理过程(Thomas et al., 2000, 2003), 皮层下组织整合信息传递给皮层组织进行加工进而形成决策结果(Gupta, Kosciak, Bechara, & Tranel, 2011), 而以往关于神经机制研究结论主要是基于脑定位研究(包括fMRI和PET), 进而提出决策模型的神经机制。未来有必要探讨大脑结构和功能网络的发展, 探讨认知系统和情绪系统交互的同时, 探讨大脑双系统协同合作机制。基于此, 本文拟提出一个对睡眠剥夺者风险决策做出更广泛解释的理论模型(见图1), 即睡眠剥夺通过认知和情绪双路径影响风险感知、风险容忍及风险决策策略, 进而影响风险决策行为; 而其中认知会影响情绪体验, 而情绪的改变又会导致认知策略发生变化。通过理论模型的建构以及进一步研究, 以期更全面地揭示睡眠剥夺对风险决策行为的影响及其内在心理机制及神经机制。

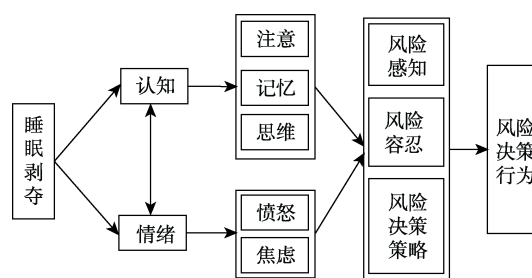


图1 睡眠剥夺影响风险决策的理论模型图

## 参考文献

- 孙彦, 李纾, 殷晓莉. (2007). 决策与推理的双系统——启发式系统和分析系统. *心理科学进展*, 15(5), 721-726.
- 肖前国, 罗乐, 余林. (2009). 推理与决策的双加工理论研究简评. *心理科学进展*, 17(2), 321-324.
- 谢晓非, 徐联仓. (1995). 风险认知研究概况及理论框架. *心理学动态*, 3(2), 17-22.
- 张颖, 冯廷勇. (2014). 青少年风险决策的发展认知神经机制. *心理科学进展*, 22(7), 1139-1148.
- Bachoo, S., Bhagwanjee, A., & Govender, K. (2013). The influence of anger, impulsivity, sensation seeking and driver attitudes on risky driving behaviour among post-graduate university students in Durban, South Africa. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 67-76.
- Banks, S., Catcheside, P., Lack, L., Grunstein, R. R., & McEvoy, R. D. (2004). Low levels of alcohol impair



- driving simulator performance and reduce perception of crash risk in partially sleep deprived subjects. *Sleep*, 27(6), 1063–1067.
- Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 3(5), 519–528.
- Bayard, S., Langenier, M. C., & Dauvilliers, Y. (2013). Decision-making, reward-seeking behaviors and dopamine agonist therapy in restless legs syndrome. *Sleep*, 36(10), 1501–1507.
- 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., (2005). Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: A neurocognitive perspective. *Nature Neuroscience*, 8(11), 1458–1463.
- Bechara, A., & Martin, E. M. (2004). Impaired decision making related to working memory deficits in individuals with substance addictions. *Neuropsychology*, 18(1), 152–162.
- Butler, G., & Mathews, A. (1987). Anticipatory anxiety and risk perception. *Cognitive Therapy and Research*, 11(5), 551–565.
- Casey, B. J., Jones, R. M., & Somerville, L. H. (2011). Braking and accelerating of the adolescent brain. *Journal of Research on Adolescence*, 21(1), 21–33.
- Chein, J., Albert, D., O'Brien, L., Uckert, K., & Steinberg, L. (2011). Peers increase adolescent risk taking by enhancing activity in the brain's reward circuitry. *Developmental Science*, 14(2), F1–F10.
- Christian, M. S., & Ellis, A. P. J. (2011). Examining the effects of sleep deprivation on workplace deviance: A self-regulatory perspective. *Academy of Management Journal*, 54(5), 913–934.
- 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(9), 1255–1262.
- Dolcos, F., Iordan, A. D., & Dolcos, S. (2011). Neural correlates of emotion-cognition interactions: A review of evidence from brain imaging investigations. *Journal of Cognitive Psychology*, 23(6), 669–694.
- Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences*, 23(10), 475–483.
- Eisenberg, A. E., Baron, J., & Seligman, M. E. (1998). Individual differences in risk aversion and anxiety. *Psychological Bulletin*, 87(1), 245–251.
- Elliott, R., Newman, J. L., Longe, O. A., & Deakin, J. W. (2003). Differential response patterns in the striatum and orbitofrontal cortex to financial reward in humans: A parametric functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of Neuroscience*, 23(1), 303–307.
- Epstein, S. (1994). Integration of the cognitive and the psychodynamic unconscious. *American Psychologist*, 49(8), 709–724.
- Figner, B., Mackinlay, R. J., Wilkening, F., & Weber, E. U. (2009). Affective and deliberative processes in risky choice: Age differences in risk taking in the Columbia Card Task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(3), 709–730.
- Frenda, S. J., Patihis, L., Loftus, E. F., Lewis, H. C., & Fenn, K. M. (2014). Sleep deprivation and false memories. *Psychological Science*, 25(9), 1674–1681.
- Frings, D. (2012). The effects of sleep debt on risk perception, risk attraction and betting behavior during a blackjack style gambling task. *Journal of Gambling Studies*, 28(3), 393–403.
- Goldstein, A. N., Greer, S. M., Saletin, J. M., Harvey, A. G., Nitschke, J. B., & Walker, M. P. (2013). Tired and apprehensive: Anxiety amplifies the impact of sleep loss on aversive brain anticipation. *The Journal of Neuroscience*, 33(26), 10607–10615.
- Griessenberger, H., Hoedlmoser, K., Heib, D. P. J., Lechinger, J., Klimesch, W., & Schabus, M. (2012). Consolidation of temporal order in episodic memories. *Biological Psychology*, 91(1), 150–155.
- Grundgeiger, T., Bayen, U. J., & Horn, S. S. (2014). Effects of sleep deprivation on prospective memory. *Memory*, 22(6), 679–686.
- Gujar, N., Yoo, S. S., Hu, P., & Walker, M. P. (2011). Sleep deprivation amplifies reactivity of brain reward networks, biasing the appraisal of positive emotional experiences. *The Journal of Neuroscience*, 31(12), 4466–4474.
- Gupta, R., Koscik, T. R., Bechara, A., & Tranel, D. (2011). The amygdala and decision-making. *Neuropsychologia*, 49(4), 760–766.
- Harrison, Y., & Horne, J. A. (1998). Sleep loss affects risk-taking. *Journal of Sleep Research*, 7(Suppl. 2), 113.
- Harrison, Y., & Horne, J. A. (1999). One night of sleep loss impairs innovative thinking and flexible decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 78(2), 128–145.
- Harrison, Y., & Horne, J. A. (2000). The impact of sleep deprivation on decision making: A review. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(3), 236–249.
- Hess, J. D., Kacen, J. J., & Kim, J. (2006). Mood-management dynamics: The interrelationship between moods and behaviours. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 59(2), 347–378.
- Hunter, D. R. (2006). Risk perception among general aviation pilots. *The International Journal of Aviation Psychology*, 16(2), 135–144.

- Isen, A. M. (2008). Some ways in which positive affect influences decision making and problem solving. In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones, & L. F. Barrett (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 548–573). New York: Guilford Press.
- Ji, M., You, X. Q., Lan, J. J., & Yang, S. Y. (2011). The impact of risk tolerance, risk perception and hazardous attitude on safety operation among airline pilots in China. *Safety Science*, 49(10), 1412–1420.
- Johnson, E. J., & Tversky, A. (1983). Affect, generalization, and the perception of risk. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45(1), 20–31.
- Jugovac, D., & Cavallero, C. (2012). Twenty-four hours of total sleep deprivation selectively impairs attentional networks. *Experimental Psychology*, 59(3), 115–123.
- Kahn, M., Sheppes, G., & Sadeh, A. (2013). Sleep and emotions: Bidirectional links and underlying mechanisms. *International Journal of Psychophysiology*, 89(2), 218–228.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. London: Macmillan.
- Kaida, K., & Niki, K. (2014). Total sleep deprivation decreases flow experience and mood status. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 10, 19–25.
- Killgore, W. D. S., Balkin, T. J., & Wesensten, N. J. (2006). Impaired decision making following 49 h of sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 15(1), 7–13.
- Killgore, W. D. S., Lipizzi, E. L., Kamimori, G. H., & Balkin, T. J. (2007). Caffeine effects on risky decision making after 75 hours of sleep deprivation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(10), 957–962.
- Knutson, K. L., van Cauter, E., Rathouz, P. J., DeLeire, T., & Lauderdale, D. S. (2010). Trends in the prevalence of short sleepers in the USA: 1975–2006. *Sleep*, 33(1), 37–45.
- Kong, D. Y., Asplund, C. L., Ling, A. Q., & Chee, M. W. (2015). Increased automaticity and altered temporal preparation following sleep deprivation. *Sleep*, 38(8), 1219–1227.
- Kuo, F. Y., Hsu, C. W., & Day, R. F. (2009). An exploratory study of cognitive effort involved in decision under Framing—an application of the eye-tracking technology. *Decision Support Systems*, 48(1), 81–91.
- Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition & Emotion*, 14(4), 473–493.
- Lerner, J. S., & Tiedens, L. Z. (2006). Portrait of the angry decision maker: How appraisal tendencies shape anger influence on cognition. *Journal of Behavioral Decision Making*, 19(2), 115–137.
- Liu, X., Hairston, J., Schrier, M., & Fan, J. (2011). Common and distinct networks underlying reward valence and processing stages: A meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(5), 1219–1236.
- Luber, B., Steffener, J., Tucker, A., Habeck, C., Peterchev, A. V., Deng, Z. D., ... Lisanby, S. H. (2013). Extended remediation of sleep deprived-induced working memory deficits using fMRI-guided transcranial magnetic stimulation. *Sleep*, 36(6), 857–871.
- Minkel, J. D., Banks, S., Htaik, O., Moreta, M. C., Jones, C. W., McGlinchey, E. L., ... Dinges, D. F. (2012). Sleep deprivation and stressors: Evidence for elevated negative affect in response to mild stressors when sleep deprived. *Emotion*, 12(5), 1015–1020.
- Mishra, S., Barclay, P., & Lalumière, M. L. (2014). Competitive disadvantage facilitates risk taking. *Evolution and Human Behavior*, 35(2), 126–132.
- Mullette-Gillman, O. A., Kurnianingsih, Y. A., & Liu, J. C. J. (2015). Sleep deprivation alters choice strategy without altering uncertainty or loss aversion preferences. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 352.
- National Center on Sleep Disorders Research. (2003). *National sleep disorders research plan*. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services.
- Orzel-Gryglewska, J. (2010). Consequences of sleep deprivation. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 23(1), 95–114.
- Pilcher, J. J., & Huffcutt, A. J. (1996). Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis. *Sleep*, 19(4), 318–326.
- Raghunathan, R., & Pham, M. T. (1999). All negative moods are not equal: Motivational influences of anxiety and sadness on decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 79(1), 56–77.
- Rogers, R. D., Ramnani, N., Mackay, C., Wilson, J. L., Jeppard, P., Carter, C. S., & Smith, S. M. (2004). Distinct portions of anterior cingulate cortex and medial prefrontal cortex are activated by reward processing in separable phases of decision-making cognition. *Biological Psychiatry*, 55(6), 594–602.
- Roszkowski, M. J., & Davey, G. (2010). Risk perception and risk tolerance changes attributable to the 2008 economic crisis: A subtle but critical difference. *Journal of Financial Service Professionals*, 64(4), 42–53.
- Sahm, C. R. (2012). How much does risk tolerance change?. *The Quarterly Journal of Finance*, 2(4), 2001–2038.
- Simon, H. A. (1987). Making management decisions: The role of intuition and emotion. *The Academy of Management Executive*, 1(1), 57–64.
- Slovic, P., Peters, E., Finucane, M. L., & MacGregor, D. G. (2005). Affect, risk, and decision making. *Health Psychology*, 24(Suppl.4), S35–S40.
- Swanson, L. M., Arnedt, J. T., Rosekind, M. R., Belenky, G., Balkin, T. J., & Drake, C. (2011). Sleep disorders and

- work performance: Findings from the 2008 National Sleep Foundation Sleep in America poll. *Journal of Sleep Research*, 20(3), 487–494.
- Thomas, M. L., Sing, H. C., Belenky, G., Holcomb, H., Mayberg, H., Dannals, R.,... Redmond, D. (2000). Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Journal of Sleep Research*, 9(4), 335–352.
- Thomas, M. L., Sing, H. C., Belenky, G., Holcomb, H. H., Mayberg, H. S., Dannals, R.,... Redmond, D. P. (2003). Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness: II. Effects of 48 and 72 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *Thalamus & Related Systems*, 2(3), 199–229.
- Ursache, A., & Raver, C. C. (2014). Trait and state anxiety: Relations to executive functioning in an at-risk sample. *Cognition & Emotion*, 28(5), 845–855.
- van Duijvenvoorde, A. C. K., Huizenga, H. M., Somerville, L. H., Delgado, M. R., Powers, A., Weeda, W. D.,... Figner, B. (2015). Neural correlates of expected risks and returns in risky choice across development. *The Journal of Neuroscience*, 35(4), 1549–1560.
- van Leijenhorst, L., Moor, B. G., de Macks, Z. A. O., Rombouts, S. A. B., Westenberg, P. M., & Crone, E. A. (2010). Adolescent risky decision-making: Neurocognitive development of reward and control regions. *NeuroImage*, 51(1), 345–355.
- Vartanian, O., Bouak, F., Caldwell, J. L., Cheung, B., Cupchik, G., Jobidon, M. E.,... Smith, I. (2014). The effects of a single night of sleep deprivation on fluency and prefrontal cortex function during divergent thinking. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 214.
- Venkatraman, V., Chuah, L., Huettel, S. A., & Chee, M. (2007). Sleep deprivation elevates expectation of gains and attenuates response to losses following risky decisions. *Sleep*, 30(5), 603–609.
- Venkatraman, V., Huettel, S. A., Chuah, L. Y. M., Payne, J. W., & Chee, M. W. L. (2011). Sleep deprivation biases the neural mechanisms underlying economic preferences. *The Journal of Neuroscience*, 31(10), 3712–3718.
- Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. *Annual Review of Psychology*, 57, 139–166.
- Williamson, A. M., & Feyer, A. M. (2000). Moderate sleep deprivation produces impairments in cognitive and motor performance equivalent to legally prescribed levels of alcohol intoxication. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(10), 649–655.
- Yoo, S. S., Gujar, N., Hu, P., Jolesz, F. A., & Walker, M. P. (2007). The human emotional brain without sleep—a prefrontal amygdala disconnect. *Current Biology*, 17(20), R877–R878.

## The effect of sleep deprivation on risky choice: A dual-process models approach

LI Aimei<sup>1</sup>; TAN Lei<sup>1</sup>; SUN Hailong<sup>1</sup>; Xiong Guanxing<sup>1</sup>; Pan Jiyang<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Management School, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

(<sup>2</sup> Sleep Medicine Center of First Affiliated Hospital, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** Sleep deprivation is a situation of shorter-than-optimal sleep time caused by some environmental or individual reasons. A variety of empirical researches studied the relationship between sleep deprivation and risky choice, but there was an argument about whether sleep deprivation led to risk-taking. This paper tried to explore the psychological mechanism between sleep deprivation and risky choice. There are three elements influence risky decision making, (i.e., risk perception, risk tolerance and risk decision strategies), and its psychological mechanism can be explained by dual-process models of cognition and emotion. Furthermore, neural studies provided evidences to support our conclusion. In the future, on the one hand, because most sleep deprivation studies were examined in laboratory, more researches should be focused on the sleep loss in real life; on the other hand, interaction effect of cognition and emotion should be considered to further complete the theoretical model of sleep deprivation and risky choice.

**Key words:** sleep deprivation; risk perception; risk tolerance; risky choice; dual-process models