

年老化对风险决策和模糊决策的影响： 来自生理性和病理性老化的证据*

喻 婧¹ 饶俐琳²

(¹ 西南大学心理学部, 重庆 400715) (² 中国科学院心理研究所行为科学重点实验室, 北京 100101)

摘 要 随着“全球老龄化”时代的到来, 老年人认知功能的下降引起了研究人员的广泛关注, 其中年老化对决策的影响成为了近年来一个新关注点。风险决策和模糊决策受生理性老化和病理性老化影响的研究显示, 正常老化个体模糊决策能力受损, 但其风险决策能力受老化影响较小; 而病理性老化个体, 以阿尔兹海默症患者为例, 在两类决策行为上均表现出损伤; 此外, 脑神经机制的研究发现在完成决策任务时正常老化个体纹状体激活模式与年轻人存在显著差异, 病理性老化个体杏仁核与腹内侧前额叶的功能连接亦存在异常。未来的研究应同时考察并比较两类决策类型, 结合外周和中枢神经证据, 深入探讨老化对决策行为及神经环路造成影响的机制。

关键词 决策; 老化; 神经退行性疾病; 阿尔兹海默症; 功能核磁共振

分类号 B849:C91; B845

1 引言

21 世纪被称为“百岁老人” (Centenarians) 纪元。随着医疗技术的不断发展和养老卫生体系的日益完善, 发达国家 2000 年之后出生的婴儿大部分寿命将超过 100 岁 (Vaupel, 2010)。随着人口寿命不断延长, 工作年限的增加将是维持现有人口红利的途径之一, 这就需要个体在年老化过程中面对生活中的不确定性依然能够做出正确有效的决策。

决策根据不同归类条件具有不同的分类形式, 常出现于老化研究的分类主要是依据概率可知性划分的风险决策和模糊决策 (Brand, Labudda, & Markowitsch, 2006)。风险决策 (decision-making under risk) 的决策结果概率已知 (先验概率) 或可以通过数学公式计算获得, 例如, 买彩票、抛硬币、轮盘游戏等。而模糊决策 (decision-making under

ambiguity) 的决策概率并非直接告知 (统计概率), 日常生活中大部分的决策都属于此类, 例如, 金融投资、手术方案选择, 或者自然灾害的发生概率等 (Weber, 2010)。心理学家以及行为经济学家开发编制了大量用于模拟风险决策和模糊决策的实验室范式, 如风险决策中使用的剑桥博弈任务 (Cambridge Gambling Task, CGT)、骰子博弈任务 (Game of Dice Task, GDT) 和二十一点 (Blackjack) 等; 以及模糊决策中使用的爱荷华博弈任务 (Iowa Gambling Task, IGT)、模拟充气球博弈任务 (Balloon Analogue Risk Task, BART) 以及行为投资分配策略 (Behavioral Investment Allocation Strategy, BIAS) 等 (Mata, Josef, Samanez-Larkin, & Hertwig, 2011)。

随着老龄化的发生和发展, 个体脑功能不断衰退, 表现为加工速度、情节记忆、注意、工作记忆以及执行功能等多维度认知能力的下降 (Salthouse, 1996)。这些认知功能的衰退会直接或间接地影响个体的决策能力, 从而导致决策效率受到影响 (Mohr, Li, & Heekeren, 2010)。在老龄化的过程中, 老年人需要面对退休、身体疾病、医疗保险、居住环境改变、经济来源以及遗产分配

收稿日期: 2013-09-18

* 国家自然科学基金 (31300856; 31300843)、高等学校博士学科点专项科研基金 (20130182120013)、中央高校基本科研业务费专项资金 (SWU1309258) 资助。

通讯作者: 喻婧, E-mail: yujingpku@gmail.com

等一系列问题,并对此进行决策。年老化是对各种决策行为均产生影响,还是仅对某一类型决策产生影响,以及产生影响的机制是什么?同时,伴随着脑老化,有部分老年人会出现与年龄和文化程度不相匹配的认知能力快速下降,最终发展成为阿尔兹海默症(Alzheimer's Disease, AD)患者。这类病理性老化是否会在生理性老化的基础上给老年人的决策行为带来额外的影响,以及这些病理性变化主要发生在决策的哪些阶段?这一系列决策受老化影响的问题引起了来自心理学、行为经济学,以及脑神经科学领域研究人员的关注,他们从行为、脑成像、神经递质等研究角度出发(Eppinger, Hämmerer, & Li, 2011; Harlé & Sanfey, 2012; Hosseini et al., 2010; Löckenhoff, 2011; Mohr et al., 2010; Pachur, Mata, & Schooler, 2009; Strough, Karns, & Schlosnagle, 2011),对决策受老化影响的问题展开了深入探讨。本文分别从风险决策和模糊决策受生理性老化、病理性老化影响,及其脑神经机制3个维度,对现有研究进行述评,并提出该领域尚待解决的问题。

2 生理性老化(正常老化)对决策的影响

研究表明个体大脑额叶会一直发育到近25岁左右(Casey, Tottenham, Liston, & Durston, 2005)并且直至年老化阶段依旧具有可塑性(Park & Reuter-Lorenz, 2009),而额叶是参与决策加工的重要脑区之一。因此,以生命全程发展的观点来看待决策问题,可以进一步增加现有理论的生态学效度(Strough et al., 2011)。

年老化带来的基础认知能力的下降从不同方面影响个体的决策。首先,一些认知功能的下降,如工作记忆的衰退,会影响策略的选择和应用。老年人更愿意采用信息搜索量少、整合更容易的简单决策策略(Mata & Nunes, 2010; Mata, Schooler, & Rieskamp, 2007; Mata, von Helversen, & Rieskamp, 2010),并且在完成简单决策任务时所花时间长于年轻人(Löckenhoff, 2011);其次,信息整合的过程中老年人会比年轻人出现更多的错误,特别是在多重信息需要综合考虑的情况下(Bruine de Bruin, Parker, & Fischhoff, 2007, 2012)。但在这种相对复杂的情况下,老年人基于猜测、简化策略,以及规避负性信息(Knight et al., 2007)等原则反而比年轻人更快做出决策(Löckenhoff,

2011);再次,老年人奖赏学习机制受损导致其建立刺激和奖惩之间的关系时出现学习困难,从而影响最终的决策行为效果(Chasseigne et al., 2004; Samanez-Larkin, Kuhnen, Yoo, & Knutson, 2010)。当决策任务中涉及学习的成分较少时,年龄差异在行为成绩和神经活动中都消失了(Hosseini et al., 2010)。学习障碍最可能影响到基于经验的决策,也就是模糊决策,因为这类决策需要决策者在不断的反馈过程中学习最佳决策方式。因此年龄相关变化在风险决策和模糊决策中可能具有不同的老化模式。

Mata 研究组(2011)在近期发表的一篇元分析文章中指出,相对于风险决策,更多学习成分参与的模糊决策对年龄的增长更加敏感。大多数风险决策任务中,老年人和年轻人表现出相似的风险寻求行为模式,并且不受获益/损失框架(gain/loss framing)的影响,其中 Sure/Risky 和 Blackjack 类型的风险决策均没有年龄效应。然而,即使是同一类型的决策,由于采用的具体任务不相同,其年龄相关的变化模式也不尽相同。元分析显示,属于风险决策类的 CGT 范式并不完全符合该类别决策的年龄变化规律。一个可能的解释是,老年人之所以在 CGT 任务中表现出较强的风险寻求是因为他们在完成该任务的过程中简化了策略,选择高风险高回报选项,而忽视了概率的改变,以期权衡认知能力下降带来的决策能力受损(Brandstätter, Gigerenzer, & Hertwig, 2006)。而同属于风险决策类的 Sure/Risk 和 Blackjack 这两个范式认知负荷较轻,不涉及该类权衡,因而年龄效应不显著。IGT 与 CGT 范式设计类似,核心不同之处在于 CGT 的决策结果概率是先验已知的,而 IGT 是通过经验学习获得的。Bauer 等(2013)采用大样本($n = 265$)深入考察了 IGT 范式的年龄效应,研究发现整体而言随着年龄的增长个体对奖赏更加敏感(hypersensitive to reward),老年人的决策能力受损体现为其决策行为并不随奖赏或惩罚的程度发生成比例的变化。目前同时涉及风险决策和模糊决策任务,并将二者进行比较的老化研究非常少。此外,研究者针对正常老化个体决策行为模式提出了互补能力假说(complementary capabilities hypothesis),指出老年人的决策能力受到流体智力和晶体智力二者的交互影响——当流体智力逐年下降时,晶体智力可

以从另一条通路进行弥补,从而形成正确的决策(Li, Baldassi, Johnson, & Weber, 2013)。该假设在时间贴现(temporal discounting)、金融素养(financial literacy)和债务素养(debt literacy)三类经济决策模型中得到了验证,老年人在这三方面与年轻人表现一致甚至更好(Li et al., 2013)。

综上,正常老化的老年人决策能力受到其晶体智力和流体智力双方面的影响。随着流体智力的下降,老年人表现出学习能力受损,从而在需要学习成分参与的决策中表现出比年轻人更差的决策行为。而随着老年人阅历的增加,晶体智力的增长,在一定程度上可以补偿其认知下降所带来的决策问题。具体到风险决策和模糊决策两类任务,总体而言正常老化的老年人风险决策能力与年轻人相似,而在需要更多学习能力参与的模糊决策任务中表现出损伤。

3 病理性老化(异常老化)对决策的影响

在过去的十几年里,关于决策异常老化的神经心理学和神经影像学研究逐年增加,研究者发现决策障碍在一些神经退行性疾病的老年人身上多有发生(Gleichgerrcht, Ibáñez, Roca, Torralva, & Manes, 2010),如帕金森(Parkinson's diseases)(Brand et al., 2004; Perretta, Pari, & Beninger, 2005)、亨廷顿氏病(Huntington's disease)(Stout, Rodawalt, & Siemers, 2001)、腹内侧前额叶皮质病变(ventromedial prefrontal cortex lesions)(Clark et al., 2008)、前额叶痴呆(fronto-temporal dementia)(Torralva et al., 2007)以及AD患者(Delazer, Sinz, Zamarian, & Benke, 2007; Sinz, Zamarian, Benke, Wenning, & Delazer, 2008; Torralva, Dorrego, Sabe, Chemerinski, & Starkstein, 2000)等。其中,AD作为继心脑血管疾病、癌症和中风之后危害老年人健康的第四大杀手,严重影响老年人的精神健康和生活质量。其患病率随增龄而增加,就全球而言65岁约为0.9%,75岁约为4.2%,85岁约为14.7%,95岁接近50%(Brookmeyer, Johnson, Ziegler-Graham, & Arrighi, 2007)。关于AD、轻度AD,以及其前临床期轻度认知障碍(Mild Cognitive Impairment, MCI)患者决策行为的研究已经成为病理性老化如何影响决策的研究重点。本文在病理性老化对决策影响的研究述评中将集中探讨老年期痴呆的决策行为问题。

AD病人与正常老化对照组相比,完成IGT任务表现更差,且IGT得分与其在词语和视觉顺行性记忆测试中的成绩显著相关,但与广泛的精神病学量表得分相关不显著(Torralva et al., 2000)。该结果表明AD患者表现出来的决策受损可能与其神经心理障碍有关,而非精神类症状,尽管该类症状在AD发病后会逐渐发展出来。Delazer研究组(2007)采用风险决策GDT范式考察轻度AD和年龄匹配对照组的决策行为,发现AD组在选择安全选项(safe choices)的总数上与正常组没有显著差异,但在安全比风险选项的比率上低于正常组。随后的数据挖掘发现,AD组在安全和风险选项间变化的频率更高,决策更随机,表明他们没有形成固定的有效策略。然而,两组被试在反应时上没有显著差异。除此之外,研究者将被试GDT的成绩与其连线任务(Trail Making Test)的表现进行相关分析,发现二者显著正相关。连线任务考察被试注意力维持和执行功能,AD患者注意力和执行功能的损伤使其不能完全记忆前一个选项选择的结果,从而影响了他们有效策略的形成。近期,Sinz研究组(2008)同时采用模糊决策IGT范式和风险决策概率关联博弈范式(Probability-Association Gambling task, PAG)考察AD患者的决策行为,研究表明AD患者在这两类决策任务中均存在损伤。与对照组相比,AD患者完成PAG任务时在低赢概率的选项上下注更多,而在高赢概率的选项上下注更少。在IGT任务中,AD患者选择有利扑克牌的次数显著低于正常对照组,且经常在有利和不利选项中变换。同时,其IGT任务表现与考察抑制控制的Go/No-go任务表现呈显著正相关。这表明AD被试所表现出来的决策的随机性可能与抑制功能的损伤有关。

近年来,阿尔兹海默症的基础和临床研究在全球医疗卫生领域提倡的“防治关口前移”理念的指导下,对病程前临床期和早期阶段越来越关注。而MCI正是介于正常老化和痴呆之间,病患表现出轻度认知功能障碍但不影响日常生活能力的一种亚临床状态(Petersen et al., 1999)。现有关MCI的研究主要集中在记忆、语言、注意、视空间以及执行功能,涉及决策能力的研究较少,但近年来正逐步引起研究者的重视,相关研究也在逐年增加(Gleichgerrcht et al., 2010)。考察MCI患者的决策行为和脑机制,一方面可以从病理性变

异的视角拓展现有决策理论的解释维度和深度; 另一方面, 尝试从综合多种认知功能、更贴近日常生活活动的决策层面探索 MCI 认知损伤机制, 找到可能存在的行为和中枢标记(neuro-marker), 可为 MCI 的识别和诊断提供来自决策方向的证据。现今, 关于 MCI 群体的决策研究主要集中在医疗决策能力(Medical Decision-making Capacity, MDC)的考察。研究显示 MCI 患者医疗决策能力与正常老年人相比, 决策速度更慢, 决策的有效性更低, 且容易对知情同意书上的内容产生误解(Okonkwo et al., 2007; Okonkwo, Griffith, Belue, et al., 2008; Okonkwo, Griffith, Copeland, et al., 2008)。这就要求临床医生在针对该类病人进行诊断、治疗的过程中, 考虑病患自身对知情同意、治疗流程、手术方案等内容的理解, 从而判断其决策的有效性。然而遗憾的是, 现如今尚未有研究针对 MCI 患者的风险决策和模糊决策能力进行考察。

综上, 病理性老化的老年人决策行为的变化在生理性老化的基础上进一步发展。病理性老化使老年人的决策能力产生了进一步的损伤, 其主要特征及应用价值包括: 1) 以 AD 病患为例, 患者不仅模糊决策受损, 在对年龄变量不敏感的风险决策类任务中也表现出损伤; 2) 通过决策行为与不同神经心理测量成绩进行相关分析, 发现 AD 患者执行功能以及控制抑制能力下降导致其策略形成困难, 这可能是 AD 病患决策损伤机制之一; 3) 对 AD 不同病程的考察发现, 即使是作为 AD 前临床期的 MCI 患者, 其医疗决策能力已经出现损伤; 4) 现阶段关于 AD 及 MCI 决策行为的考察尚处在基础研究阶段, 通过对数据的积累以及损伤特征的归纳, 以期找到与病理进程相关的指标, 为病理性老化的早期识别和诊断提供来自决策方向的证据; 5) 在此基础上, 探索出针对老化相关的决策损伤的干预方案也是未来研究的一个重要方向。需要注意的是, 现有研究的结果以及对机制的阐释并不完全一致, 这与研究自身的异质性有关, 如 1) 采用的范式存在差异; 2) 被试的不同质, 不同研究对轻度 AD、MCI 的界定标准可能存在差异; 3) 控制的认知维度不一致, 各研究使用的神经心理调查工具不同。

4 决策受老化影响的脑神经机制

决策行为受不同神经递质系统的调节, 主要

涉及五羟色胺和多巴胺, 而这两类神经递质随年老化逐年下降(每 10 年下降 5%~10%), 且直接影响决策相关的腹侧纹状体(the ventral striatum, VStr)、腹内侧前额叶皮层(the ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)和背外侧前额叶皮层(the dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)的神经活动, 从而在生命全程发展的过程中影响个体的决策行为(Doya, 2008; Mohr et al., 2010)。鉴于学术伦理, 我们很难在活体人类身上直接考察五羟色胺和多巴胺神经递质与决策行为之间的关系, 而功能核磁共振(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)这一无创技术在数据采集和算法上的发展, 为研究人员简便和动态地考察个体脑神经活动提供了强大的技术支持。其中, 脑激活和脑功能连接是脑神经机制研究的核心——脑激活讨论的是脑区的活动强度, 强调功能分离, 算法上采用单变量的广义线性模型; 而脑功能连接强调功能整合, 算法上主要采用相关分析(Friston, 1994)。关于决策生理性和病理性老化的脑机制研究相对较少, 下文将从脑激活和脑功能连接两部分对两类老化研究进行统一介绍和评述。

4.1 决策受老化影响的脑激活研究

年龄变化带来的决策行为以及相应的脑神经机制的改变在刺激-奖赏连接的学习过程中体现得尤为明显(Mohr et al., 2010)。研究人员采用不同决策范式考察了决策行为的脑激活模式在正常老化过程中的改变。研究发现, 在需要建立刺激-奖赏连接的决策任务中, 与中性刺激条件相比在具有奖励预期的刺激条件下, 年轻人 VStr 激活增强, 而老年人正好具有相反的模式——VStr 激活消失, 并通过中脑边缘系统激活进行奖赏的自我反馈。研究结果表明老年人奖赏预期能力减弱有可能是由于多巴胺依赖降低了中脑边缘系统的信噪比所导致的(Schott et al., 2007)。另两项同样需要刺激-奖赏连接学习的决策研究中, 研究人员发现了类似的结果, 年轻人奖赏预期过程中 VStr 激活增强, 而老年人激活减弱甚至消失(Cox, Aizenstein, & Fiez, 2008; Marschner et al., 2005)。相反, 在不需要学习成分参与的延迟奖励任务中, 老年人与年轻人相比在赢预期(gain anticipation)条件下具有相对完好的 VStr 激活, 而仅在输预期(loss anticipation)条件下激活减弱(Samanez-Larkin et al., 2007)。

研究人员对于决策受老化影响的脑神经机制进行了初步的考察,然而较为遗憾的是:其一,现有的研究多是针对单一范式的脑激活进行年龄差异的考察,没能系统地对不同决策类型的老化差异进行比对探究;其二,大多数基于经验的模糊决策,以经典的 IGT 范式为例,包含前期的预期阶段和后期的经验阶段。研究发现在预期阶段中岛叶皮层和基底神经节(basal ganglia)显著激活,表明该脑区可能在形成长期有利决策中起关键作用;而在经验阶段顶下小叶(inferior parietal lobe)显著激活,提示该区域可能参与了对结果的评估(Lin, Chiu, Cheng, & Hsieh, 2008)。然而,现如今尚未有研究分步式考察年老化对模糊决策脑激活的影响。换句话说,年老化对模糊决策脑机制的影响究竟是发生在决策的哪个阶段,以及如何产生影响的尚且未知;其三,针对神经退行性疾病异常老化的决策脑成像研究非常少,而针对 AD 以及 MCI 群体的研究更是几近真空。

4.2 决策受老化影响的脑功能连接研究

在决策行为发生的过程中,涉及到的脑区并不是独立运作的,而是像一个系统一样协作运行(Schoenbaum, Chiba, & Gallagher, 2000)。例如,解剖破坏眶额叶皮层(the orbital frontal cortex, OFC)

和杏仁核的连接,其对学习和决策的损伤与单独破坏两个脑区的效果类似(Izquierdo & Murray, 2004)。因此,全面理解决策受老化影响的脑神经机制的挑战不仅来自于对决策任务(去)激活脑区的考察,更需要探究不同脑区之间在功能连接层面如何相互作用。基于动物模型的神经解剖学研究发现,决策功能解剖连接主要涉及 OFC、杏仁核,以及前扣带回(the anterior cingulate cortex, ACC)之间的相关(Izquierdo & Murray, 2004)。可预知的是,还有大量尚未明确的决策脑功能连接存在。例如, OFC 和 ACC 两个脑区都存在广泛的双边皮质连接(包括 vmPFC、DLPFC、岛叶皮层以及顶叶皮层)和皮质下连接(包括杏仁核、纹状核和丘脑)(Cavada, Tejedor, Cruz-Rizzolo, & Reinoso-Suárez, 2000),这些解剖学证据表明这些脑区之间在决策行为发生时可能存在潜在的功能连接关系。

Gleichgerricht 在近期的综述文章中指出决策过程分为 3 个子系统,各自对应相应的脑区:刺激编码系统包含重要的决策评估过程,主要包括 vmPFC、VStr、OFC 以及多巴胺通路中的脑区;行为选择系统包括学习以及主观价值编码过程,主要包括 ACC、外侧前额叶皮层(lateral prefrontal

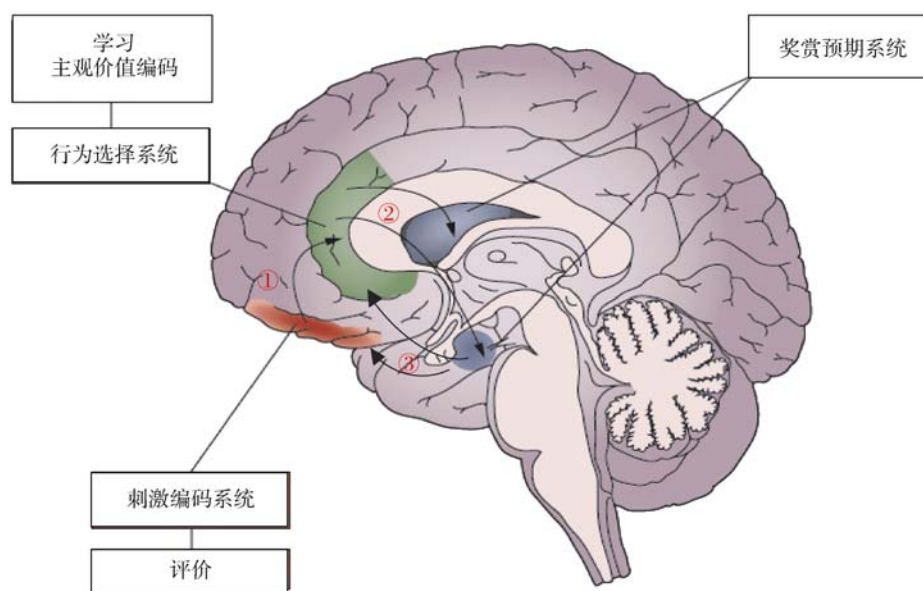


图 1 决策涉及的 3 个系统(刺激编码、行为选择以及奖赏预期)分别对应的脑区以及可能的脑区功能连接示意图

(资料来源: Gleichgerricht et al., 2010)

cortex)脑区；奖赏预期系统主要激活杏仁核、岛叶皮层、基底核(图1)。决策作为一个完整的认知过程，涉及的这3个子系统不可能独立运作，相应的脑区之间存在功能连接关系。已有研究发现在风险决策任务中“前额叶—前扣带回”功能连接，以及模糊决策任务中“前额叶—杏仁核”功能连接的重要性，同时这些关键脑区还分别和多个皮质和皮质下脑区具有功能连接(Cohen, Heller, & Ranganath, 2005; Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel, & Camerer, 2005)。基于AD是一种“失连接综合症”(disconnection syndrome)的观点(Delbeuck, Van der Linden, & Collette, 2003)，其在杏仁核上发生的神经退行性病变以及杏仁核与vmPFC的功能连接失活(Herholz et al., 2002)，可以部分解释AD患者为什么不能形成有效决策策略(Gleichgerrcht et al., 2010)。而这些观点尚需实证研究加以验证。此外，随着该领域研究的增加和数据的积累，可以尝试更系统地由Gleichgerrcht研究组提出的3个阶段考察决策受老化影响的脑机制，探讨老化对决策神经环路的影响。

5 讨论与展望

5.1 多种范式同时考察

虽然研究人员意识到风险决策和模糊决策在老化过程中受年龄影响的模式存在差异，但现有研究多是单独考察其中一种类型，很少有研究将两类决策任务同时纳入到一个研究中进行老化机制的比对考察。在今后的研究中，应该同时考察多种范式，至少可以考虑最经典的IGT、CGT和GDT三种任务。这些任务除了受设计本身——概率可知性的影响以外，还会受到诸如：人格特质、测试时的情绪状态、对任务的理解程度，以及工作记忆、执行功能等方面的影响。例如，IGT范式就因为其测试成绩容易受到个体信念的影响具有较大的个体差异而受到了批评(Buelow & Suhr, 2009; Dunn, Dalgleish, & Lawrence, 2006)。因此，如果能在同一个研究中采用多种决策范式，将提高对结果解释的准确性，且多种范式直接进行比较将有助于风险决策和模糊决策中两个经典范式的老化机制的理解，并发现这两个范式老化模式的异同。

5.2 决策神经通路受老化影响的实证研究

现有的实证研究对决策的神经通路进行了较

为深入的探讨，但是该通路是否受老化的影响尚没有研究加以验证。正如Hsu等(2005)在Science上提出的决策神经环路假说，以及上述决策过程涉及到的神经基础过程，我们可以推测具有神经退行性病变发生的AD患者，其杏仁核功能失活以及与vmPFC的功能失联，可能是其不能够成功建立有效的决策策略的神经机制之一，而这一点，是否在临床前期MCI患者上就已经发生，也是亟待考察的科学问题。

依据现有的决策神经模型以及实证数据，预期存在一条从信息编码(前额叶)到学习评价(前扣带回)再到奖赏预期(杏仁核)最后再反馈回信息编码和学习评价的决策神经环路(“前额叶—前扣带回—杏仁核”) (见图1①②③)。在之后的研究中，可以采用风险决策和模糊决策任务，探索决策不同阶段脑区功能连接(尤其是“前额叶—前扣带回—杏仁核”)的强度和方向，以及其受生理性老化和病理性老化发生发展的影响。

5.3 外周与中枢神经数据结合

目前，尚没有将外周系统检测(血压、血糖、尿液等)和中枢神经检测(脑激活，脑功能连接等)相结合考察决策受老化影响的研究。已有研究发现老化个体异常的外周检测指标——高血压(Tzourio, Dufouil, Ducimetière, & Alperovitch, 1999; Qiu, Winblad, & Fratiglioni, 2005)、高血脂(Anstey, Lipnicki, & Low, 2008; Solomon et al., 2007)、高尿甲醛含量(Tong et al., 2011; Wang, Su, Liu, Yue, & He, 2012)等与其综合认知能力损伤显著相关。未来的研究可以考虑同时采集这两个神经系统的数据，从而：1)对决策受老化影响的过程做更为全面地阐释，考察不同外周指标与其决策能力和特征的关系，找到对决策能力损伤敏感的特异性外周指标；2)通过结合外周和中枢指标，以期提高早期识别决策障碍老年人的敏感性和特异性。这就涉及到新范式的设计和开发。经典的IGT范式通过改良，很好地运用在了正电子发射断层扫描(Positron-Emission Tomography, PET)和fMRI研究中。可以预期，在之后的研究里，通过改良经典实验范式或设计新的实验范式将能够帮助我们实现多维指标——外周和中枢指标同时采集的目的。

6 结语

探究老年人在不同情境下决策行为和脑机制

的特征,将有助于揭示决策相关的脑区以及神经环路在老化发展进程中的变化,对深入理解决策的老化机制具有极其重要的科学意义。同时,对AD、MCI等病理性老化群体决策行为以及神经机制的考察,将为我们深入探究异常老化的发病机制,早期识别相应神经退行性疾病,从而降低老年痴呆的发病率、延缓老年痴呆的发展进程,提供来自决策方向的证据。在此基础上,研究结果将对目标群体为老年人的项目投资、政策制定、以及产品开发提供一定意义的指导,提高老年人的决策质量和效率,促进养老保障体系的建设和可持续发展。

参考文献

- Anstey, K. J., Lipnicki, D. M., & Low, L. (2008). Cholesterol as a risk factor for dementia and cognitive decline: A systematic review of prospective studies with meta-analysis. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 16(5), 343–354.
- Bauer, A. S., Timpe, J. C., Edmonds, E. C., Bechara, A., Tranel, D., & Denburg, N. L. (2013). Myopia for the future or hypersensitivity to reward? Age-related changes in decision making on the Iowa Gambling Task. *Emotion*, 13(1), 19–24.
- Brand, M., Labudda, K., Kalbe, E., Hilker, R., Emmans, D., Fuchs, G., ... Markowitsch, H. J. (2004). Decision-making impairments in patients with Parkinson's disease. *Behavioural Neurology*, 15(3), 77–85.
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks*, 19(8), 1266–1276.
- Brandstätter, E., Gigerenzer, G., & Hertwig, R. (2006). The priority heuristic: Making choices without trade-offs. *Psychological Review*, 113(2), 409–432.
- Brookmeyer, R., Johnson, E., Ziegler-Graham, K., & Arrighi, H. M. (2007). Forecasting the global burden of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 3(3), 186–191.
- Bruine de Bruin, W., Parker, A. M., & Fischhoff, B. (2007). Individual differences in adult decision-making competence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 92(5), 938–956.
- Bruine de Bruin, W., Parker, A. M., & Fischhoff, B. (2012). Explaining adult age differences in decision-making competence. *Journal of Behavioral Decision Making*, 25(4), 352–360.
- Buelow, M. T., & Suhr, J. A. (2009). Construct validity of the Iowa gambling task. *Neuropsychology Review*, 19(1), 102–114.
- Casey, B. J., Tottenham, N., Liston, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: What have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 104–110.
- Cavada, C., Tejedor, J., Cruz-Rizzolo, R. J., & Reinoso-Suárez, F. (2000). The anatomical connections of the macaque monkey orbitofrontal cortex. A review. *Cerebral Cortex*, 10(3), 220–242.
- Chasseigne, G., Ligneau, C., Grau, S., Gall, A. L., Roque, M., & Mullet, E. (2004). Aging and probabilistic learning in single-and multiple-cue tasks. *Experimental Aging Research*, 30(1), 23–45.
- Clark, L., Bechara, A., Damasio, H., Aitken, M., Sahakian, B. J., & Robbins, T. W. (2008). Differential effects of insular and ventromedial prefrontal cortex lesions on risky decision-making. *Brain*, 131(5), 1311–1322.
- Cohen, M. X., Heller, A. S., & Ranganath, C. (2005). Functional connectivity with anterior cingulate and orbitofrontal cortices during decision-making. *Cognitive Brain Research*, 23(1), 61–70.
- Cox, K. M., Aizenstein, H. J., & Fiez, J. A. (2008). Striatal outcome processing in healthy aging. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 8(3), 304–317.
- Delazer, M., Sinz, H., Zamarian, L., & Benke, T. (2007). Decision-making with explicit and stable rules in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 45(8), 1632–1641.
- Delbeuck, X., Van der Linden, M., & Collette, F. (2003). Alzheimer's Disease as a disconnection syndrome? *Neuropsychology Review*, 13(2), 79–92.
- Doya, K. (2008). Modulators of decision making. *Nature Neuroscience*, 11(4), 410–416.
- Dunn, B. D., Dalgleish, T., & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: A critical evaluation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(2), 239–271.
- Eppinger, B., Hämmerer, D., & Li, S. C. (2011). Neuromodulation of reward-based learning and decision making in human aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235(1), 1–17.
- Friston, K. J. (1994). Functional and effective connectivity in neuroimaging: A synthesis. *Human Brain Mapping*, 2(1-2), 56–78.
- Gleichgerricht, E., Ibáñez, A., Roca, M., Torralva, T., & Manes, F. (2010). Decision-making cognition in neurodegenerative diseases. *Nature Reviews Neurology*, 6(11), 611–623.
- Harlé, K. M., & Sanfey, A. G. (2012). Social economic decision-making across the lifespan: An fMRI investigation. *Neuropsychologia*, 50(7), 1416–1424.

- Herholz, K., Salmon, E., Perani, D., Baron, J. C., Holthoff, V., Frölich, L.,...Kalbe, E. (2002). Discrimination between Alzheimer dementia and controls by automated analysis of multicenter FDG PET. *Neuroimage*, 17(1), 302–316.
- Hosseini, S. M., Rostami, M., Yomogida, Y., Takahashi, M., Tsukiura, T., & Kawashima, R. (2010). Aging and decision making under uncertainty: Behavioral and neural evidence for the preservation of decision making in the absence of learning in old age. *Neuroimage*, 52(4), 1514–1520.
- Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D., & Camerer, C. F. (2005). Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making. *Science*, 310(5754), 1680–1683.
- Izquierdo, A., & Murray, E. A. (2004). Combined unilateral lesions of the amygdala and orbital prefrontal cortex impair affective processing in rhesus monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 91(5), 2023–2039.
- Knight, M., Seymour, T. L., Gaunt, J. T., Baker, C., Nesmith, K., & Mather, M. (2007). Aging and goal-directed emotional attention: Distraction reverses emotional biases. *Emotion*, 7(4), 705–714.
- Löckenhoff, C. E. (2011). Age, time, and decision making: From processing speed to global time horizons. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235(1), 44–56.
- Li, Y., Baldassi, M., Johnson, E. J., & Weber, E. U. (2013). Complementary cognitive capabilities, economic decision making, and aging. *Psychology and Aging*, 28(3), 595–613.
- Lin, C. H., Chiu, Y. C., Cheng, C. M., & Hsieh, J. C. (2008). Brain maps of Iowa gambling task. *BMC Neuroscience*, 9(1), 72.
- Marschner, A., Mell, T., Wartenburger, I., Villringer, A., Reischies, F. M., & Heekeren, H. R. (2005). Reward-based decision-making and aging. *Brain Research Bulletin*, 67(5), 382–390.
- Mata, R., Josef, A. K., Samanez-Larkin, G. R., & Hertwig, R. (2011). Age differences in risky choice: A meta-analysis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235(1), 18–29.
- Mata, R., & Nunes, L. (2010). When less is enough: Cognitive aging, information search, and decision quality in consumer choice. *Psychology and Aging*, 25(2), 289–298.
- Mata, R., Schooler, L. J., & Rieskamp, J. (2007). The aging decision maker: Cognitive aging and the adaptive selection of decision strategies. *Psychology and Aging*, 22(4), 796–810.
- Mata, R., von Helversen, B., & Rieskamp, J. (2010). Learning to choose: Cognitive aging and strategy selection learning in decision making. *Psychology and Aging*, 25(2), 299–309.
- Mohr, P., Li, S. C., & Heekeren, H. R. (2010). Neuroeconomics and aging: Neuromodulation of economic decision making in old age. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 678–688.
- Okonkwo, O. C., Griffith, H. R., Belue, K., Lanza, S., Zamrini, E. Y., Harrell, L. E.,...Marson, D. C. (2007). Medical decision-making capacity in patients with mild cognitive impairment. *Neurology*, 69(15), 1528–1535.
- Okonkwo, O. C., Griffith, H. R., Belue, K., Lanza, S., Zamrini, E. Y., Harrell, L. E., ...Marson, D. C. (2008). Cognitive models of medical decision-making capacity in patients with mild cognitive impairment. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(2), 297–308.
- Okonkwo, O. C., Griffith, H. R., Copeland, J. N., Belue, K., Lanza, S., Zamrini, E. Y.,...Raman, R. (2008). Medical decision-making capacity in mild cognitive impairment A 3-year longitudinal study. *Neurology*, 71(19), 1474–1480.
- Pachur, T., Mata, R., & Schooler, L. J. (2009). Cognitive aging and the adaptive use of recognition in decision making. *Psychology and Aging*, 24(4), 901–915.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173–196.
- Perretta, J. G., Pari, G., & Beninger, R. J. (2005). Effects of Parkinson disease on two putative nondeclarative learning tasks: Probabilistic classification and gambling. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 18(4), 185–192.
- Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: Clinical characterization and outcome. *Archives of Neurology*, 56(3), 303–308.
- Qiu, C. X., Winblad, B., & Fratiglioni, L. (2005). The age-dependent relation of blood pressure to cognitive function and dementia. *The Lancet Neurology*, 4(8), 487–499.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403–428.
- Samanez-Larkin, G. R., Gibbs, S., Khanna, K., Nielsen, L., Carstensen, L. L., & Knutson, B. (2007). Anticipation of monetary gain but not loss in healthy older adults. *Nature Neuroscience*, 10(6), 787–791.
- Samanez-Larkin, G. R., Kuhnen, C. M., Yoo, D. J., & Knutson, B. (2010). Variability in nucleus accumbens activity mediates age-related suboptimal financial risk taking. *The Journal of Neuroscience*, 30(4), 1426–1434.
- Schoenbaum, G., Chiba, A. A., & Gallagher, M. (2000). Changes in functional connectivity in orbitofrontal cortex and basolateral amygdala during learning and reversal training. *The Journal of Neuroscience*, 20(13), 5179–5189.

- Schott, B. H., Niehaus, L., Wittmann, B. C., Schütze, H., Seidenbecher, C. I., Heinze, H. J., & Düzel, E. (2007). Ageing and early-stage Parkinson's disease affect separable neural mechanisms of mesolimbic reward processing. *Brain*, 130(9), 2412–2424.
- Sinz, H., Zamarian, L., Benke, T., Wenning, G. K., & Delazer, M. (2008). Impact of ambiguity and risk on decision making in mild Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 46(7), 2043–2055.
- Solomon, A., Kåreholt, I., Ngandu, T., Winblad, B., Nissinen, A., Tuomilehto, J., ... Kivipelto, M. (2007). Serum cholesterol changes after midlife and late-life cognition Twenty-one-year follow-up study. *Neurology*, 68(10), 751–756.
- Stout, J. C., Rodawalt, W. C., & Siemers, E. R. (2001). Risky decision making in Huntington's disease. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 7(1), 92–101.
- Strough, J., Krams, T. E., & Schlosnagle, L. (2011). Decision-making heuristics and biases across the life span. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1235(1), 57–74.
- Tong, Z., Zhang, J., Luo, W., Wang, W., Li, F., Li, H., ... Wan, Y. (2011). Urine formaldehyde level is inversely correlated to mini mental state examination scores in senile dementia. *Neurobiology of Aging*, 32(1), 31–41.
- Torralva, T., Dorrego, F., Sabe, L., Chemerinski, E., & Starkstein, S. E. (2000). Impairments of social cognition and decision making in Alzheimer's disease. *International Psychogeriatrics*, 12(3), 359–368.
- Torralva, T., Kipps, C. M., Hodges, J. R., Clark, L., Bekinschtein, T., Roca, M., ... Manes, F. (2007). The relationship between affective decision-making and theory of mind in the frontal variant of fronto-temporal dementia. *Neuropsychologia*, 45(2), 342–349.
- Tzourio, C., Dufouil, C., Ducimetière, P., & Alperovitch, A. (1999). Cognitive decline in individuals with high blood pressure A longitudinal study in the elderly. *Neurology*, 53(9), 1948–1948.
- Vaupel, J. W. (2010). Biodemography of human ageing. *Nature*, 464(7288), 536–542.
- Wang, J., Su, T., Liu, Y., Yue, Y., & He, R. (2012). Postoperative cognitive dysfunction is correlated with urine formaldehyde in elderly noncardiac surgical patients. *Neurochemical Research*, 37(10), 2125–2134.
- Weber, E. U. (2010). Risk attitude and preference. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1(1), 79–88.

Effects of Aging on Decision-making under Risk and Decision-making under Ambiguity: Evidences from Physiological and Pathological Aging

YU Jing¹; RAO Li-Lin²

(¹ Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(² Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The world is aging at its fastest rate ever. There are raising concerns on older adults' cognitive declining. The effects of aging on decision-making becomes one new focus recent years. Recent studies on decision-making from the aspects of physiological aging, pathological aging and its brain mechanisms showed that normal aging demonstrated impaired decision-making under ambiguity but intact decision-making under risk, whereas the pathological aging individuals, like Alzheimer's disease patients, demonstrated impairment of both kinds of decision-making on behaviors and brain functions. Future research needs to use multiple measures of decision-making in the same study and to combine both peripheral and central measures to investigate the aging effect on the behavior and neuro-circuits of decision-making.

Key words: decision-making; aging; neurodegenerative diseases; Alzheimer's disease; functional magnetic resonance imaging