

· 主编特邀(Editor-In-Chief Invited) ·

编者按:

本栏目特邀的作者是中国科学院心理研究所“百人计划”入选者——李兴珊研究员。李兴珊研究员的阅读与视觉认知实验室在与 Keith Rayner 等国内外知名眼动专家广泛开展合作交流的基础上,系统研究了汉语阅读、场景知觉、决策等高级认知活动中的认知机理和眼动控制过程。近几年来,李兴珊研究员及其合作团队将眼动技术应用于决策研究领域,利用眼动技术检验和比较了不同的决策理论,并在 *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*、*Journal of Economic Psychology* 等国际期刊上发表了系列论文。本文主要综述了这些应用眼动技术进行的决策研究,介绍了眼动技术如何为检验各个决策理论做出贡献,这为今后决策领域的研究提供了新的思路。

(责任编辑:隋南)

决策过程的追踪:基于眼动的证据*

魏子晗 李兴珊

(中国科学院 行为科学重点实验室,心理研究所,北京 100101)

摘要 利用过程追踪技术实现对“决策过程”的追踪,或能真正解答“人类是如何做出决策”这一科学问题。在各种过程追踪技术中,眼动技术由于具有无干扰性、适用范围广泛、采集信息多样等独一无二的优势,已被广泛应用于各种决策研究中,为验证和比较不同决策理论的不同假设和预测做出了贡献。本文介绍了眼动技术如何被应用于验证补偿性决策理论与非补偿性决策理论对风险决策过程的不同假设,眼动技术如何用于检验多次决策与单次决策的决策过程差异,以及眼动技术如何用于检验“剔除-关注模型”与“齐当别决策模型”对多属性决策中共享信息发挥作用机制的不同预测。

关键词 决策过程追踪技术;眼动技术;补偿性决策理论;非补偿性决策理论;单次决策;多次决策;剔除-关注模型;齐当别决策模型

分类号 B849:C91

1 前言

决策(decision making)就是人类根据自己的意愿和信念选择行动的过程(庄锦英,2006)。理解人类的决策行为,改善决策过程是一个重要的研究领域。美国国家科学院曾指出“没有哪一项基础科学的研究目标能比‘了解人类是如何思维、解决问题、做出决定、并改进我们解决问题和制定政

策的能力’这一研究目标更有前景、更为重要”(Simon,1986)。

决策研究自20世纪50年代兴起,至今已有60多年的研究历史(Weber & Johnson,2009)。尽管在这期间,研究者们取得了一定的成果,其中还有3位学者(Herbert Simon,1978年;Maurice Allais,1988年;Daniel Kahneman,2002年)因对行为决策研究的突出贡献而获得了诺贝尔经济学奖(李纾,2006)。但是,至今我们似乎依然无法准确地回答“人类究竟是如何做出决策”这一谜题。为什么我们对决策过程知之甚少?一个重要的原因在于研究技术的局限性。由于缺乏直接观察或记录决策过程的技术手段,在很长一段时间内,研究者们

收稿日期:2015-09-20

* 国家自然科学基金面上项目(31070904),中国科学院心理研究所百人计划配套经费,中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCX2-YW-BR-6)。

通讯作者:李兴珊, E-mail: lixs@psych.ac.cn

只能通过观察某些输入变量(决策任务的特征、决策者的特征等)与决策结果的关系,来推测其背后隐含的决策过程。

近年来,随着决策过程追踪技术的使用和发展,研究者们逐步实现了对决策过程的直接观察和记录。其中,眼动技术由于其独特的优势,逐渐成为决策过程追踪研究中一项重要的研究技术,眼动技术为揭示决策行为的心理机制,建立、完善和发展决策理论做出了重大贡献。

2 为什么应用眼动技术研究决策过程?

2.1 研究决策过程的重要性

决策研究中包括两种不同的研究范式:基于决策结果(outcome-based)的研究范式和基于决策过程(process-based)的研究范式(Svenson, 1979; Weber & Johnson, 2009; Johnson, Schulte-Mecklenbeck, & Willemsen, 2008; Riedl, Brandstätter, & Roithmayr, 2008; Schulte-Mecklenbeck, Kühberger, & Ranyard, 2011)。前者只关注决策中的输入-输出数据(input-output data),通过分析实际行为数据与模型的拟合程度(goodness-of-fitting)来评价与验证模型。这是一种较为传统的研究范式,期望效用理论(Expected Utility Theory; Luce & Raiffa, 1957)、预期理论(Prospect Theory; Kahneman & Tversky, 1979)等早期决策理论都是基于这种研究范式得以建构和发展(Glöckner & Betsch, 2011)。但是,这种研究范式本身具有一定的局限性:首先,利用这种研究范式很难进行有效的模型比较,需要借助于非常精妙的实验设计(Schulte-Mecklenbeck et al., 2011),很多情况下,同样的决策行为结果能够被多种模型所解释,无法判别哪种模型的解释更为合理(Weber & Johnson, 2009; Johnson et al., 2008);其次,这种研究范式对模型的证伪同样存在困难,当实际决策行为与模型预测相悖时,旧的模型可以通过引进新的函数来优化模型的拟合度,这就如同希腊神话中的九头蛇——斩去一头生出二头,无法从根本上实现模型证伪(李纾等, 2009; 汪祚军, 李纾, 2012)。最后,也是最重要的一点,基于结果所发展的决策模型只是一个基于方法学产生的人造物(artifact) (Franco-Watkins & Johnson, 2011),它所做的只是利用回归、方差分析等统计方法去解释输入变量(决策任务或决策者的特征)与输出变量(决策结果)的关系(Weber &

Johnson, 2009),而并非解释实际的“决策过程”。许多模型对过程的假设存在着巨大的差异,但却对决策结果有着相同的预测(Johnson et al., 2008),因此在这种情况下发展的模型即使能够很好地拟合决策的结果,我们仍旧不能得知决策背后的心理机制是否真的如模型所预测的那样。例如,从决策结果上来看,累积预期理论(Cumulative Prospect Theory, CPT; Kahneman & Tversky, 1979; Tversky & Kahneman, 1992)通过修正各种参数,能够很好地拟合决策结果,看起来是一个“好”的理论(Glöckner & Herbold, 2011; Suter, Pachur, & Hertwig, 2015)。但是,即使大多数被试的选择结果能够被累积预期理论这种基于期望价值计算的模型正确地预测,也依旧无法说明“决策过程”就是像累积预期理论所说的那样是基于期望价值计算的。实际上,很多基于过程的研究都表明,决策过程并非像累积预期理论所说的那样进行加权求和(Schulte-Mecklenbeck et al., 2011)。

与基于结果的研究范式不同,基于过程的研究范式试图寻找输入-输出结果之间如何发生关联,旨在解释决策行为背后的心理过程(Svenson, 1979; Johnson et al., 2008)。基于过程的研究范式直接对决策中的心理过程(如:哪种信息被深度加工整合了?)、决策者在决策中的中间状态(如:决策信息会促进决策者提取什么样的记忆?)、决策的时间顺序(如:决策者先思考什么,后思考什么?)等问题提出假设,并利用过程追踪技术收集并记录过程数据,对这些心理过程、中间状态进行假设检验(Weber & Johnson, 2009)。相对于单纯的输入-输出数据,过程追踪数据能为模型比较与验证提供更为丰富的证据,能够真正地解释决策背后的心理过程,真正地回答“人类究竟如何做决定”这一谜题(Schulte-Mecklenbeck et al., 2011)。

2.2 眼动技术在研究决策过程中的优势

为了实现对决策过程的追踪,研究者们发展了多种不同的决策过程追踪技术,包括口头报告法(Protocol Analysis)、出声思维法(Thinking Aloud) (Svenson, 1979)、主动信息搜集法(Active Information Search) (Huber, Wider, & Huber, 1997)、信息板法(Information Board) (Payne, 1976)、鼠标实验室(Mouselab) (Bettman, Johnson, & Payne, 1990)、鼠标追踪法(Mousetracker) (Spivey, Grosjean, & Knoblich,

2005)、眼动技术(Eye-movement technology)等。相比于其他决策过程追踪技术,眼动技术具有独特的优势。

2.2.1 无干扰性

眼动技术可以自然地、无干扰地记录被试的决策过程,具有非常好的实验效度。其他决策过程追踪技术往往会对决策过程本身产生影响。例如,出声思维法要求被试在决策的同时关注自己的思维过程,一边决策一边口头报告出自己的内心所想;而信息板法和鼠标实验室法则是先将决策信息掩蔽起来,只呈现信息类别,而不显示具体的信息内容(如在风险决策中,只显示有“概率”和“金钱”两种信息类别,而不显示具体的“概率大小”和“金钱金额”),被试先选择要查看的信息类别,然后通过翻看信息板(信息板法)或鼠标点击信息区块(鼠标实验室法)查看具体的信息内容。这些方法本身就会干扰被试的决策过程,通过这些方式所追踪到的决策过程并不算是自然条件下的决策过程(Glöckner & Betsch, 2011; Schulte-Mecklenbeck et al., 2011)。眼动技术主要通过精妙的成像设备记录决策者在决策过程中眼球的运动轨迹。一方面,由于眼球运动本身是一种无意识的行为,被试在实验中很难察觉或改变眼动过程(Russo, 1978);另一方面,也有证据表明,佩戴眼动记录仪本身对被试行为产生的影响很小(Gilbert & Gilbert, 1942)。因此,相比其他过程追踪技术,眼动技术能够更加真实地、无干扰地反映出自然状态下决策者的决策过程。

2.2.2 适用范围广泛

眼动技术的适用范围十分广泛。其他决策过程追踪技术往往对实验环境、实验任务、实验对象有一定的限制。例如,鼠标实验室、鼠标追踪法要求被试必须使用鼠标完成实验任务,而信息板法、信息搜索、出声思维法要求被试具有较好的教育水平和认知能力,因此无法用于研究儿童、精神障碍患者等特殊人群。但眼动技术几乎对实验环境、实验任务和实验对象没有特殊的限制与要求(Russo, 1978)。由于技术的发展,眼动仪的采样率、便携性、灵活性在不断提高,眼动技术不仅适用于实验室决策行为的研究,也适用于真实的现场决策研究,还适用于运动、驾驶等动态行为决策的研究。眼动技术也适用于研究各种不同类型的研究对象,不仅可以研究正常成人的

决策行为,也可以研究老人、儿童、婴幼儿、精神障碍患者等特殊人群的决策行为,甚至还可以应用到动物的决策研究中(徐娟, 2013)。

2.2.3 采集信息多样

通过眼动技术获取的决策过程追踪数据信息量大,丰富的眼动指标既能反映决策过程的空间特征,又能反映决策过程的时间特征;既能反映信息的加工广度,又能反映信息的加工深度(Glöckner & Wittman, 2010)。例如:对某信息或选项重复注视的次数可以反映决策者对该信息或选项的注意偏向程度,从而可以推断该信息或选项在决策中的凸显性和重要性(Hristova & Grinberg, 2008; Kim, Seligman, & Kable, 2012; Meißner & Decker, 2010; Reisen, Hoffrage, & Mast, 2008; Su, Rao, Li, Wang, & Li, 2012; van Raaij, 1977; Wedell & Senter, 1997)。对某信息或某选项的注视总时长或注视点的平均注视时长可以反映决策者对该信息或选项的加工深度,从而可以推断信息或选项在决策中的相对重要性(Kuo, Hsu, & Day, 2009; 汪祚军, 李纾, 2012; Su et al., 2012)。决策者对各个信息的注视次数比例和注视时间比例,反映出了哪些信息对决策过程起到了作用,哪些信息在决策中被忽略(Horstmann, Ahlgrimm, & Glöckner, 2009)。长时注视点、中时注视点和短时注视点在整个决策过程中的分布可以反映决策的整体加工模式(自动加工/控制加工)(Glöckner & Herbold, 2011; Glöckner, Fiedler, Hochman, Ayal, & Hilbig, 2012)。注视顺序可以反映决策者所采用的决策策略,判断决策者是使用基于选项的(alternative-based)还是基于属性的(attribute-based)决策策略(Russo & Rosen, 1975; Russo & Doshier, 1983)。决策过程中瞳孔大小的变化也能够反映决策者的认知加工负荷和唤醒度的变化(Beatty, 1982; Partala & Surakka, 2003)。

3 眼动技术为检验决策过程理论所做的贡献

早在 20 世纪 70 年代, Russo 和 Rosen (1975) 就开始将眼动技术应用于决策研究中。此后,越来越多的研究者将眼动技术应用于决策领域的研究中(Orquin & Mueller Loose, 2013)。在眼动技术的帮助下,研究者们了解了诸如信息的凸显性(Milosavljevic, Navalpakkam, Koch, & Rangel,

2012; Orquin, Scholderer, & Jeppesen, 2012)、信息呈现的位置(Chandon, Hutchinson, Bradlow, & Young, 2009; Reutskaja, Nagel, Camerer, & Rangel, 2011)、信息负荷量(Horstmann et al., 2009; Lohse & Johnson, 1996; Reutskaja et al., 2011; Russo & Doshier, 1983)、决策难度(Fiedler & Glöckner, 2012; Russo & Doshier, 1983)、决策阶段(Russo & Leclerc, 1994; Krajbich & Rangel, 2011; Krajbich, Armel, & Rangel, 2010; Krajbich, Lu, Camerer, & Rangel, 2012)、决策策略(Horstmann et al., 2009; Sütterlin, Brunner, & Opwis, 2008; 汪祚军, 李纾, 2012)、审慎型/直觉型思维(Horstmann et al., 2009)、时间压力(Pieters & Warlop, 1999; Reutskaja et al., 2011; van Herpen & van Trijp, 2011)、框架效应(Kuo et al., 2009)、学习效应(Meißner & Decker, 2010; Orquin, Bagger, & Mueller Loose, 2013)等关键因素是如何影响决策中的眼动模式,进而对决策行为产生影响的。此外,也有研究者发现,眼动与注意过程本身会自下而上地影响决策行为,出现注视层叠效应(gaze cascade effect)(Shimojo, Simion, Shimojo, & Scheier, 2003; Simion & Shimojo, 2006, 2007; Glaholt & Reingold, 2009, 2011; Glaholt, Wu, & Reingold, 2009; Schotter, Berry, McKenzie, & Rayner, 2010),在眼动技术的实时反馈下,操纵决策者对信息的注视能够在一定程度上影响决策结果(Pärnamets et al., 2015)。

这些研究已取得了丰富成果,帮助我们更深入地了解了决策过程。不仅如此,近年来眼动技术还被成功地应用于验证和比较不同决策理论的不同假设和预测,从而促进了决策过程理论的建立和发展。下面我们将详细介绍眼动技术是如何为检验各个决策过程理论做出贡献的。

3.1 补偿性决策理论 vs. 非补偿性决策理论

决策理论与模型可以被划分为补偿性和非补偿性两大类(Birnbaum & LaCroix, 2008; Johnson et al., 2008; 汪祚军, 欧创巍, 李纾, 2010; 张阳阳, 饶伶俐, 梁竹苑, 周媛, 李纾, 2014)。补偿性指决策过程中对所有相关信息进行了加工,并权衡了所有选项及其信息的权重,补偿性决策理论包括期望价值(Expected Value, EV)理论、期望效用(Expected Utility, EU)理论(Edwards, 1954; Savage, 1954; von Neumann & Morgenstern, 1944)、累积预期理论(Cumulative Prospect Theory, CPT; Kahneman

& Tversky, 1979; Tversky & Kahneman, 1992)等。相反,非补偿性决策理论认为,个体的认知加工能力是有限的,人们无法对所有决策信息进行加工和整合,决策者只利用有限的信息,并避免进行价值之间的权衡(Payne & Bettman, 2004)。非补偿性决策模型包括占优启发式模型(Priority Heuristic, PH; Brandstätter, Gigerenzer, & Hertwig, 2006)、满意原则(Principle of Satisficing; Simon, 1955)、齐当别决策模型(Equate-to-differentiate; Li, 2004)等。通过一些精妙的实验设计,眼动技术被用于检验这些决策模型,以解决补偿性和非补偿性的理论之争。

3.1.1 应用眼动技术直接检验决策理论

补偿性决策模型与非补偿性决策模型所描述的决策过程存在着本质性区别,两种模型对决策过程中的信息扫描量、扫描速度、信息加工深度、信息整合方式等有着不同的假设。眼动技术能够很好地反映决策过程中的这些特征,因此有研究者(Glöckner & Herbold, 2011; Fiedler & Glöckner, 2012)试图利用眼动技术直接检验累积预期理论(补偿性决策模型)和占优启发式理论(非补偿性决策模型)对决策过程的预测。累积预期理论认为(1)决策者会用稳定的、有序的方式对所有信息进行搜索、加工、整合和计算;(2)决策者的信息加工和计算速度是稳定不变的。因此累积预期理论对决策的眼动模式有以下几个预测:a)信息的搜索量应该近似 100%,并且信息搜索量不应该受决策题目类型的影响;b)由于加工整合信息需要较长时间,因此注视点的持续时间较长;c)对各个信息的注视时间和注视次数分布较为均等。Glöckner 和 Herbold (2011)发现决策者并没有注视所有的决策信息,信息搜索量也受到决策题目类型的影响;整个决策过程以中短时的注视点为主,而不是长时注视;同时,对各个信息的注视次数和注视时长存在显著的差异,注视具有选择性。这些结果都与累积预期理论的预期相悖,在一定程度上说明决策并非是一个对所有信息进行加权求和的过程。不过,眼动数据也并没有验证占优启发式对信息加工的预测。根据占优启发式的决策规则:a)决策者对信息的整体搜索量偏少,信息搜索量随着占优启发式条件的增多而增加;b)一开始加工深度较浅、注视时长较短,之后逐渐加工深度增加、注视时长增加;c)对最小结果(minimum

outcome)的注视更多。而 Glöckner 和 Herbold 发现, 决策中对信息的注视次数并没有因为占优启发式条件的变化而变化, 注视点的时长也并没有随着加工时程的增长而增长, 也没有出现对最小结果的注视偏好。

Glöckner 和 Herbold (2011)所采用的方法是较为直接的一种检验方法。他们利用某些眼动指标来反映决策过程的特征, 然后直接检验被试在这些特征上是否符合某个决策理论的预测。

这种直接验证的方法存在一定的局限性, 眼动指标确实能够定性反映决策过程的某些特征, 但还无法真正达到量化的水平。究竟多长时间的注视点才是真正的深度加工, 而多短时间的注视点才是真正的浅度加工? 信息搜索量高于多少是遵循了补偿性的信息搜索策略, 低于多少是遵循了非补偿性的搜索策略? 基于选项的眼跳和基于属性的眼跳差异要多大才能真正区分出基于选项的决策策略和基于属性的决策策略呢? 我们无法精确地回答这些问题, 当然也就无法真正地验证或证伪相应的决策理论。

3.1.2 眼动技术与“迫选规则体验法”范式的结合

将眼动技术与迫选规则体验法结合可以有效地解决上述直接检验法的问题。迫选规则体验法要求被试严格依据迫选决策规则(如: 按照某决策模型所提出的规则)做出决策, 然后比较被试在迫选规则决策和实际自主决策中的差异, 以检验决策过程是否符合某个决策模型的预测(饶俐琳, 梁竹苑, 李纾, 2009; 汪祚军, 李纾, 2012)。采用迫选规则体验法, 有研究者曾探索了决策者在自主决策和规则迫选时的决策结果、情感体验与规则认可程度的关系, 发现决策者采用齐当别决策规则(非补偿性决策理论)时的决策结果、情感体验和规则认可度优于采用期望价值原则(补偿性决策理论)时的决策结果、情感体验和规则认同, 据此说明与期望价值理论相比, 齐当别决策模型可能更符合决策者实际决策时所采用的规则(饶俐琳等, 2009)。但是, 决策结果、情感体验和规则认可度都属于间接的指标, 这些指标仍然无法回答“实际的决策过程究竟是怎样的”这一科学问题。因此, 将眼动技术与迫选规则体验法结合, 就能充分发挥两种研究方法的优势, 既能直观地追踪到各种决策规则下的决策过程, 又能定性地对不同决策模型与实际决策过程的差异。

汪祚军和李纾(2012)结合了眼动技术与迫选规则体验法, 检验了决策过程究竟是遵循期望价值原则(Expect Value, EV, 补偿性决策理论)还是占优启发式理论(Priority Heuristic, PH, 非补偿性决策理论)。他们要求被试分别进行了 EV 迫选任务、PH 迫选任务和自主决策任务: 在 EV 迫选任务中, 要求被试对选项的期望价值(EV)进行计算, 然后选择期望价值较大的选项; 在 PH 迫选任务中, 要求被试按照占优启发式决策模型提出的决策步骤进行选择; 自由决策任务中, 不给被试任何策略要求, 被试进行自由选择。通过对这三种任务的眼动轨迹分析发现: 被试在 EV 迫选任务条件下, 基于选项的眼跳次数显著多于基于属性的眼跳次数; 而在自主决策任务条件下, 被试基于属性的眼跳次数显著多于基于选项的眼跳次数。这说明, EV 迫选任务条件下, 决策者更多基于选项进行信息搜索, 而在自主决策任务条件下则更多地进行基于属性的信息搜索, 也就是说自主决策并不是像期望价值理论所预测的那样进行基于选项的加权求和。而 PH 迫选任务与自主决策任务的眼动模式也有差异: 在 PH 迫选任务中, 被试对最小结果的注视时间、注视次数和选项间的眼跳次数都显著多于对其他信息区域的注视时间、注视次数和选项间的眼跳次数; 而在自主决策任务中, 被试对最小结果的注视时间、注视次数和选项间的眼跳次数都显著少于对最大结果的注视时间、注视次数和选项间的眼跳次数。这说明, 自由决策也并不像占优启发式所预测的那样首先关注最小结果。通过对这三个任务的眼动过程比较, 汪祚军和李纾(2012)的研究说明了人们在自由决策时既不遵循期望价值理论, 也不遵循占优启发式原则, 这与 Glöckner 和 Herbold (2011)的发现是一致的。

3.1.3 眼动技术与“概率-比例决策任务”范式的结合

由于迫选规则体验法要求被试按照特定的策略进行选择, 需要对被试进行训练, 故该范式中的决策不是一个自然的加工过程。因此, 这种任务与自主决策任务在眼动模式上的差异不仅仅源于补偿性和非补偿性决策过程的不同, 还可能源自于两个任务在自动化加工程度、被试对任务的熟悉度等方面的差异。针对这一问题, 梁竹苑、徐丽娟、饶俐琳、蒋田仔和李纾(2012)巧妙地设计

了“概率-比例决策任务”新范式,引入了概率决策任务和比例决策任务的对比。概率任务和比例任务的刺激材料完全相同,都用“X, Y%”来表示选项。但是,在概率任务中“Y%”表示概率,“X, Y%”表示有 Y%的可能性获得/损失 X 元钱,被试在概率任务中自主地进行风险决策;而在比例决策任务中,“Y%”表示比例,“X, Y%”表示获得/损失 X 元的 Y%,此时被试会自主地进行加权求和,计算并比较 X 与 Y%乘积。比较这两种任务下被试的眼动过程的异同,就可以检验风险决策过程是否会进行加权求和的计算,同时又避免了训练、自动化加工等因素的干扰。

Su 等人(2013)利用“概率-比例决策任务”范式分别检验了被试在进行单次概率任务与比例任务时眼动模式的异同。其结果发现单次概率任务的眼动模式与比例任务的眼动模式存在较大的差异,具体表现以下几个方面:(1)信息搜索方向:信息搜索方向用 SM 值来表示,SM 值反映被试基于选项的眼跳次数比例高还是基于属性的眼跳次数比例高。另外 SM 值大于 0 表示整个决策是基于选项的,小于 0 则表示整个决策是基于属性的(Böckenholt & Hynan, 1994a, 1994b)。Su 等人(2013)的研究发现比例任务的 SM 值显著大于单次概率任务;在正负值上,比例任务的 SM 值为正值,而单次概率任务的 SM 值为负值。这表明,比例任务整体上是基于选项进行决策的,遵循补偿性决策理论;而单次概率任务则是基于属性进行决策的,遵循非补偿性决策理论。(2)信息加工深度:在决策反应之前被试所注视的信息量占总信息量的比例表示了整个决策的信息加工深度。Su 等人(2013)的结果表明,单次概率任务的信息加工深度显著低于比例任务的信息加工深度。(3)加工复杂性:用平均注视时间来表示信息加工的复杂性,单次概率任务的平均注视时长显著低于比例任务的平均注视时间。(4)注视分布:注视分布是指被试在决策中对各种信息的注视比例,反映了各种信息对决策的重要性。补偿性决策理论认为,决策者需要整合所有的信息之后才能做出决策,因此,决策者对每个信息的注视是相对平均的;而非补偿性决策理论认为,决策者只依赖较为关键的一些属性进行决策,因此,决策者对不同信息的注视分布是不均匀的。Su 等人(2013)的结果表明,单次概率任务中,被试对各个信息

区的注视比例的两两差异显著,注视比例由大到小依次为:大报酬,小概率,小报酬,大概率,这与非补偿性决策理论的预测较为一致。而对于比例任务来说,被试对四个区域的注视比例较为均衡,注视比例的差异均不显著,更加符合补偿性决策理论的预测。Su 等人通过比较单次概率任务与比例任务在眼动模式上的差异,再次说明了被试在进行自由风险决策时并不像补偿性决策理论所预测的那样进行加权求和。

3.1.4 实验性分离

如果操纵一个自变量能使两个对象发生不同的变化,那么就可以认为这两个对象在本质上是不同的,也就是出现了实验性分离(杨治良,钟毅平,1996)。除了直接对比不同任务下的眼动模式外,利用实验性分离的思想也能够检验不同任务是否包含相同的决策过程。

非补偿性决策理论,如齐当别决策模型等,认为决策者是基于属性进行信息搜索的,如果更换选项内信息呈现的位置,使得两个选项的某些属性(例如:最大结果及其概率)交叉呈现,就会引起决策者产生更多交叉转换的眼跳轨迹。而补偿性理论认为决策者是基于选项进行信息搜索和加工的,因此,无论是否交换选项内的信息位置,都不会影响决策中的眼跳轨迹。基于这一思想,汪祚军和李纾(2012)操纵了实验材料的呈现方式,通过交换选项中信息的呈现位置,使得两个选项的最大结果及其概率与最小结果及其概率出现交叉和非交叉两种呈现方式(图 1),然后分别观察决策者在自主决策任务和 EV 迫选任务中的眼动模式。结果发现呈现方式与任务类型对交叉眼跳次数的交互作用显著:在 EV 迫选任务条件下,交叉呈现与非交叉呈现的交叉眼跳次数无显著性差异;而在自主决策任务条件下,交叉呈现条件下的交叉眼跳次数显著多于非交叉呈现条件下的交叉眼跳次数(图 1)。这说明,自主决策任务与 EV 迫选任务条件下被试的信息搜索模式确实存在不同——自主决策条件下,被试更倾向于进行属性间的比较而非选项间的比较。

另外,补偿性理论认为决策者会对每个选项进行加权求和,即对各个结果及其概率进行乘积计算,然后再将这些乘积结果相加求和。因此,加权求和的计算难度将会对整个决策过程产生重要影响,如果计算难度较大,消耗的认知资源较多,

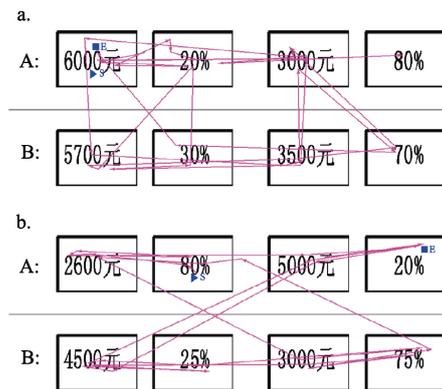


图 1 非交叉呈现(a)与交叉呈现(b)的材料及其在自主决策任务中的典型眼动轨迹示意图,其中,箭头表示了注视点在注视轨迹中的先后顺序,S表示注视轨迹的起始点,E表示注视轨迹的终点(来源: Zhou et al., 2015)。

那么被试对信息的加工时间、信息加工量、加工深度等都会相应地增加,这些决策过程都会反映在眼动模式上。相反,非补偿性决策理论认为决策者只是依赖于属性间的比较,应用启发式的决策策略。因此,无论结果与概率的计算难度如何,都不会影响到整体的决策过程,眼动轨迹也不会发生改变。基于这种思路,Su等人(2013)操纵了单次概率任务和比例任务中决策选项的计算难度,计算难度较低的选项其报酬结果和概率/比例都是整十整百数(如:800和90%),而计算难度较高的选项其报酬结果和概率/比例都是非整十整百数(如:750和85%)。他们的研究表明,计算难度与任务类型对信息搜索方向的影响存在着显著的交互作用:计算难度的增大显著提高了被试在比例任务中的SM值,随着计算难度的增加,被试越倾向于进行基于选项的信息搜寻;但计算难度的提高却显著降低了单次概率任务下眼动的SM值,随着计算难度的增加,被试反而更倾向于进行基于属性的信息搜索。此外,计算难度与任务类型对被试的决策反应时以及平均注视时长的影响也存在着显著的交互作用:随着难度的增加,比例任务的决策反应时、平均注视时长都显著地增长了;但难度却并没有对被试在单次概率任务中的决策反应时和平均注视时长产生显著的影响。

通过操纵这两种不同的调节变量,上述两个研究再次说明单次的、自主的风险决策过程并非像补偿性决策理论所预测的那样进行基于选项的、加权求和的计算。很显然,那些影响加权求

和计算的因素(如:计算难度)对单次的、自主风险决策过程并不产生影响;相反,那些影响属性比较的因素(如:交叉呈现方式)对单次的、自主风险决策过程产生了显著的影响。这说明单次的、自主风险决策过程可能更符合非补偿性决策理论所描述的那样进行基于属性的、启发式的决策。

以上研究无论是采用眼动技术直接对决策过程进行检验,还是将眼动技术与“迫选规则体验法”或“概率-比例决策任务”范式结合,或是利用某些调节变量实现了实验的双分离,都说明了人们的决策过程并不像补偿性决策模型所说的那样,对每个选项进行加权求和,然后基于选项的效用进行决策。相反,人们的决策更符合非补偿性决策理论的描述,是一种基于属性的、启发式的过程。不过,一些特定的非补偿性决策模型,如占优启发式,也不能很好地解释追踪到的决策的眼动过程。实际决策过程究竟符合哪种非补偿性决策模型?对这一问题的解答还有待更多研究者采用眼动技术去进一步地探索。

3.2 单次风险决策 vs. 多次风险决策

上述研究提供了大量的证据说明单次的风险决策不符合补偿性决策理论的描述,可理论研究者为什么始终对这类决策理论不离不弃?Li(2003)指出,这可能是对于研究者来说,建立决策理论的目的在于能够解释和预测多数人、多次决策的行为倾向,而并不在意特定的某次决策行为。因此,这些补偿性模型反映的实质上是一个多次决策的过程。实际上,补偿性模型所依赖的“期望”这一概念本身也正是基于多次重复取样计算所得的,多次决策时人们的决策行为才更加符合期望价值理论,而单次决策与多次决策的心理机制和决策过程并不相同。Samuelson(1963)和其同事的故事就展现了单次决策和多次决策的差异:他的同事拒绝了一次一半可能获得200元一半可能损失100元的赌博,但当这个赌博要进行100次时,Samuelson的同事却欣然接受了该赌博。众多实证研究也发现,决策者在做多次决策时更符合期望价值理论的预测(Colbert, Murray, & Nieschwietz, 2009; DeKay & Kim, 2005; Klos, Weber, & Weber, 2005; Langer & Weber, 2001; Li, 2003)。

为了验证多次决策过程是否真的与单次决策过程不同,多次决策过程是否更符合期望价值理论的预测,Su等人(2013)利用“概率-比例决策任

务”范式比较了单次概率任务、多次概率任务和比例任务 3 种条件下的眼动模式。结果发现, 多次概率任务下的眼动模式确实与比例任务的眼动模式更为接近, 而单次概率任务与多次概率任务下的眼动模式存在较大差异。具体表现在: 多次概率任务和比例任务的 SM 值都为正, 而单次概率任务的 SM 为负值; 多次概率任务的信息注视比例显著多于单次概率任务, 但与比例任务的差异不显著; 多次概率任务下被试对各个信息区的注视分布也与比例任务更为接近, 两个任务下对几种信息区的注视都较为均衡, 而单次概率任务下对各个信息区的注视却存在较大差异。这说明, 多次风险决策确实更加符合期望价值理论的预测, 进行加权求和的期望运算, 而多次风险决策与单次风险决策的心理机制和决策过程存在着较大的差异。

Sun, Rao, Zhou 和 Li (2014)也应用眼动技术, 探索了单次决策与多次决策在应急管理应用中的区别。她们发现在应急方案的制定与选择中, 决策者得知方案只实施一次时的选择偏好及其眼动轨迹与决策者得知方案会重复实施多次时的选择偏好及其眼动轨迹具有较大差异。具体来讲, 相对于应急方案只实施一次时被试的选择及其眼动轨迹, 当应急方案会实施多次时, 被试的选择会更加符合期望价值理论的预测, 被试更倾向于选择期望价值更高的选项, 其眼动轨迹中基于选项的眼跳比例更多, 注视的平均时长更长, 长时的注视点比例更多而短时的注视点比例更少。这些差异在公共卫生应急决策情境和农业生产应急决策情境下都得到了一致的结果。

上述两个眼动研究揭示了多次风险决策与单次风险决策在决策过程上的差异, 说明多次风险决策是符合期望价值理论的, 但单次风险决策行为则与期望价值理论不符。

3.3 剔除-关注模型 vs. 齐当别决策模型

作为消费者, 我们每天都要面临各种各样的选择。对于两种相似(共享特征)却又不同(独有特征)的商品, 究竟是什么决定了我们的选择? 是相似的共享特征还是不同的独有特征? 基于补偿性的决策理论, 研究者们提出了“剔除-关注”模型(Houston & Sherman, 1995; Houston, Sherman, & Baker, 1989), 认为消费者在两个商品之间做出选择时, 会忽略两者的共享特征而将注意的焦点集

中在两种商品的独有特征上, 整个决策过程不会受到共享特征的影响。但是, 基于齐当别决策模型, Li, Zheng 和 Li (2007)认为并不是所有共享特征对消费决策都不产生影响。他们的研究发现, 当共享特征与独有特征之间有关联时, 共享特征会改变某些属性间的差异, 进而影响整个决策过程。在 Li 等人(2007)的研究基础上, Su 等人(2012)进一步提出共享特征的“质”与“量”的变化都会影响消费者的消费决策, 并应用眼动技术验证了这一观点。他们选用了最常见的快餐店决策情景, 要求被试从两种不同的套餐中进行选择, 套餐 A 的食品量小(小号鸡汉堡)而饮品量大(大杯冰可乐), 套餐 B 的食品量大(大号鸡汉堡)而饮品量小(小杯冰可乐), 同时, 两种套餐还包含了一个共同商品(共享特征)。Su 等人(2012)从“质”和“量”上分别操纵了共同商品的种类, 形成了 6 种不同的共享特征: 小量的食品“一对烤鸡翅”、大量的食品“十对烤鸡翅”、小量的饮品“品尝杯雪碧”、大量的饮品“大杯装雪碧”, 以及与食品饮品都无关的“大包湿纸巾”和“小包湿纸巾”。

Su 等人(2012)记录了被试在不同共享特征的套餐选择中的眼动轨迹, 结果发现, 不同质与量的共享特征对决策确实产生了不同的影响, 导致被试对共享特征和独有特征关注程度不同。具体来说, 首先, 不同类型的共享特征显著影响了被试的选择: 当“十对烤鸡翅”作为共享特征加入备选套餐时, 被试选择饮品维度占优的套餐 A 的比例显著提高; 当“大杯装雪碧”作为共享特征时, 被试选择食品维度占优的套餐 B 的比例显著提高; 而当其他类型的共享特征加入时, 被试的选择偏好差异不显著。其次, 不同类型的共享特征显著影响了被试对共享特征的关注度: 当大量的、相关的物品(如: “十对烤鸡翅”、“大杯装雪碧”)作为共享特征出现时, 被试对这类共享特征的注视时长、注视次数显著高于其他几种类型的共享特征(“品尝杯雪碧”除外, 这可能是由于“品尝杯”词频较低, 导致决策者好奇而给予更多关注), 对这类共享特征的最后注视时间也晚于所有其他类型的共享特征, 说明相关的、大量的共享特征在决策中起到了重要作用。同时, 不同类型的共享特征也显著影响了被试对选项中独有信息的关注度: “十对烤鸡翅”作为共享特征加入备选套餐能够显著提高被试对选项“食品”维度的注视次数百分比

和注视时长百分比,同时也显著提高了被试在两选项“食品”维度上的眼跳次数;而当“大杯装雪碧”作为共享特征加入套餐时,被试对选项“饮品”维度的注视次数百分比、注视时长百分比、以及眼跳次数也显著地提高了;而无关的共享特征或小量相关的共享特征则没有显著影响被试决策中对独有特征的注意。

应用眼动技术,该研究说明了共享特征确实会影响多属性决策。当共享特征与独有特征相关且量较大时,人们在决策过程中会关注这些共享特征。共享特征的加入还影响到人们在决策过程中对独有特征的加工。这一结果表明,人们的实际决策违背了基于补偿性规则的“剔除-关注”模型的预期;另一方面,上述结果亦说明多属性决策过程可能如齐当别所预期的是基于维度的。

4 总结与展望

早期对决策行为的研究仅仅关注于输入和输出变量之间的关系,并没有真正解答“人类究竟如何做出决策”这一谜题。随着眼动技术等过程追踪技术在决策研究中的应用,研究者才真正实现了直接观察与探索“决策过程”的目标。在各种过程追踪技术中,眼动技术具有独一无二的优势,因此被广泛应用于各种决策研究中。眼动技术为验证和比较各种决策理论提供了直接、有效的证据。例如:在眼动技术的帮助下,研究者们利用各种实验范式解决了风险决策的“补偿性决策理论与非补偿性决策理论”之争;在眼动技术的帮助下,研究者发现多次风险决策和单次风险决策的决策过程存在着不同;在多属性决策中利用眼动技术检验了“剔除-关注模型”和“齐当别决策模型”。总而言之,眼动技术促进了决策理论的建立、发展和完善,为整个决策心理学的理论发展做出了不可估量的贡献。

在今后的研究中,眼动技术必将为决策研究带来更多的新发现,为决策理论的发展带来更多的证据支持。我们期待着有更多的决策研究者能够应用眼动这一过程追踪技术揭开“决策过程”的神秘面纱。为了实现这一目标,我们认为,今后的决策与眼动研究需要着力于以下两个方面的探索:

一方面,从眼动技术发展的层面来看,研究者们应该进一步发展和丰富更加适用于决策领域研究的眼动指标和眼动数据分析方法。纵观当前

决策的眼动研究,大部分研究所关注的眼动指标还相对比较局限,常用的眼动指标,如注视次数、注视时长、兴趣区注视比例等,只能反映决策的某些局部特征(local details),信息比较单一,要不只体现时间特征,要不只体现空间特征,很少能够整合性地考虑多维度信息。此外,这些指标大部分都是静态性指标,不能反映整个决策过程中信息加工模式的动态变化性。因此,今后在决策研究中,研究者们应当更多地关注能够反映决策整体特征、动态特征的眼动数据。例如:注视轨迹(scanpath)分析法能够分析眼动轨迹的注视点顺序,反映了注视时间与注视位置的动态变化情况,因此被认为是更能反映决策过程整体特征和动态特征的一种眼动分析技术(Day, 2010; Harte, Westenberg, & van Someren, 1994)。近年来,有决策研究者开始关注如何将注视轨迹(scanpath)分析法应用于决策研究中。Zhou 等人(2015)利用注视轨迹分析方法对已发表的 3 篇决策研究中的眼动数据进行再分析,验证了注视轨迹分析法在决策研究中具有较高的信效度,同时利用这种分析方法还找出了不同决策任务下最典型的眼动轨迹,为我们更直观地理解不同决策过程提供了便利。

另一方面,从决策理论发展的层面来看,研究者们应该进一步探索在决策过程中各种眼动模式背后的心理意义,建立眼动过程与决策结果的联系,最终实现用眼动数据预测决策行为的终极目标。事实上,按照目前所取得的证据,我们已经发现决策者采用不同的决策策略(Horstmann et al., 2009; Sütterlin et al., 2008; 汪祚军, 李纾, 2012)、依赖不同的决策信息(Glöckner & Herbold, 2011; Glöckner et al., 2012; Su et al., 2012; van Raaij, 1977; Wedell & Senter, 1997)、在不同的决策阶段(Russo & Leclerc, 1994; Krajbich & Rangel, 2011; Venkatraman, Payne, & Huettel, 2014),其眼动模式都有巨大的区别。基于这些证据,研究者可以进一步建立不同眼动模式与不同决策策略、不同决策信息、不同决策阶段的关联,进而利用眼动数据预测决策者采用了什么决策策略、依赖什么样的决策维度,在什么样的决策阶段做决策。如果能够理清决策过程中各种眼动模式背后的心理意义,建立完善的眼动过程与决策结果的关联图谱,那么,利用眼动技术来预测人们选择的结果,真正把“眼睛”作为心灵的窗户,实现“读心术”或

许就不再是神话。

参考文献

- 李纾. (2006). 发展中的行为决策研究. *心理科学进展*, 14(4), 490-496.
- 李纾, 毕研玲, 梁竹苑, 孙彦, 汪祚军, 郑蕊. (2009). 无限理性还是有限理性?——齐当别抉择模型在经济行为中的应用. *管理评论*, 21(5), 103-114.
- 梁竹苑, 徐丽娟, 饶俐琳, 蒋田仔, 李纾. (2012). “20%的概率获得蛋糕”=“获得蛋糕的20%”? 检验风险决策的期望法则假设. *科学通报*, 57(35), 3421-3433.
- 饶俐琳, 梁竹苑, 李纾. (2009). 追选规则体验法: 检验规范性和描述性风险决策理论的新尝试. *心理学报*, 41(8), 726-736.
- 汪祚军, 欧创巍, 李纾. (2010). 整合模型还是占优启发式模型? 从齐当别模型视角进行的检验. *心理学报*, 42(8), 821-833.
- 汪祚军, 李纾. (2012). 对整合模型和占优启发式模型的检验: 基于信息加工过程的眼动研究证据. *心理学报*, 44(2), 179-198.
- 徐娟. (2013). 眼动仪的发展和性能比较. *中国现代教育装备*, (23), 16-18.
- 杨治良, 钟毅平. (1996). 现代实验心理学三种新方法评述. *心理科学*, (1), 44-48.
- 张阳阳, 饶俐琳, 梁竹苑, 周媛, 李纾. (2014). 风险决策过程验证: 补偿/非补偿模型之争的新认识与新证据. *心理科学进展*, 22(2), 205-219.
- 庄锦英. (2006). *决策心理学*. 上海: 上海教育出版社.
- Beatty, J. (1982). Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin*, 91(2), 276-292.
- Bettman, J. R., Johnson, E. J., & Payne, J. W. (1990). A componential analysis of cognitive effort in choice. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 45(1), 111-139.
- Birnbaum, M. H., & LaCroix, A. R. (2008). Dimension integration: Testing models without trade-offs. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 105(1), 122-133.
- Böckenholt, U., & Hynan, L. S. (1994a). Caveats on a process-tracing measure and a remedy. *Journal of Behavioral Decision Making*, 7(2), 103-117.
- Böckenholt, U., & Hynan, L. S. (1994b). Similarities and differences between SI and SM: A reply to Payne and Bettman. *Journal of Behavioral Decision Making*, 7(2), 123-127.
- Brandstätter, E., Gigerenzer, G., & Hertwig, R. (2006). The priority heuristic: Making choices without trade-offs. *Psychological Review*, 113(2), 409-432.
- Chandon, P., Hutchinson, J. W., Bradlow, E. T., & Young, S. H. (2009). Does in-store marketing work? Effects of the number and position of shelf facings on brand attention and evaluation at the point of purchase. *Journal of Marketing*, 73(6), 1-17.
- Colbert, G., Murray, D., & Nieschwietz, R. (2009). The use of expected value in pricing judgments. *Journal of Risk Research*, 12(2), 199-208.
- Day, R. F. (2010). Examining the validity of the Needleman-Wunsch algorithm in identifying decision strategy with eye-movement data. *Decision Support Systems*, 49(4), 396-403.
- DeKay, M. L., & Kim, T. G. (2005). When things don't add up: The role of perceived fungibility in repeated-play decisions. *Psychological Science*, 16(9), 667-672.
- Edwards, W. (1954). The theory of decision making. *Psychological Bulletin*, 51(4), 380-417.
- Fiedler, S., & Glöckner, A. (2012). The dynamics of decision making in risky choice: An eye-tracking analysis. *Frontiers in Psychology*, 3, 335.
- Franco-Watkins, A., & Johnson, J. G. (2011). Decision moving window: Using interactive eye tracking to examine decision processes. *Behavior Research Methods*, 43(3), 853-863.
- Gilbert, L. C., & Gilbert, D. W. (1942). Reading before the eye-movement camera versus reading away from it. *The Elementary School Journal*, 42, 443-447.
- Glaholt, M. G., & Reingold, E. M. (2009). Stimulus exposure and gaze bias: A further test of the gaze cascade model. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(3), 445-450.
- Glaholt, M. G., Wu, M.-C., & Reingold, E. M. (2009). Predicting preference from fixations. *PsychNology Journal*, 7(2), 141-158.
- Glaholt, M. G., & Reingold, E. M. (2011). Eye movement monitoring as a process tracing methodology in decision making research. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 4(2), 125-146.
- Glöckner, A., & Betsch, T. (2011). The empirical content of theories in judgment and decision making: Shortcomings and remedies. *Judgment and Decision Making*, 6(8), 711-721.
- Glöckner, A., Fiedler, S., Hochman, G., Ayal, S., & Hilbig, B. E. (2012). Processing differences between descriptions and experience: A comparative analysis using eye-tracking and physiological measures. *Frontiers in Psychology*, 3, 173.
- Glöckner, A., & Herbold, A.-K. (2011). An eye-tracking study on information processing in risky decisions: Evidence for compensatory strategies based on automatic processes. *Journal of Behavioral Decision Making*, 24(1), 71-98.
- Glöckner, A., & Witteman, C. (2010). Beyond dual-process

- models: A categorisation of processes underlying intuitive judgement and decision making. *Thinking & Reasoning*, 16(1), 1–25.
- Harte, J. M., Westenberg, M. R. M., & van Someren, M. (1994). Process models of decision making. *Acta Psychologica*, 87(2-3), 95–120.
- Horstmann, N., Ahlgrimm, A., & Glöckner, A. (2009). How distinct are intuition and deliberation? An eye-tracking analysis of instruction-induced decision modes. *Judgment and Decision Making*, 4(5), 335–354.
- Houston, D. A., & Sherman, S. J. (1995). Cancellation and focus: The role of shared and unique features in the choice process. *Journal of Experimental Social Psychology*, 31(4), 357–378.
- Houston, D. A., Sherman, S. J., & Baker, S. M. (1989). The influence of unique features and direction of comparison of preferences. *Journal of Experimental Social Psychology*, 25(2), 121–141.
- Hristova, E., & Grinberg, M. (2008). *Disjunction effect in prisoner's dilemma: Evidences from an eye-tracking study*. Paper presented at the Proceedings of the 30th Annual conference of the cognitive science society.
- Huber, O., Wider, R., & Huber, O. W. (1997). Active information search and complete information presentation in naturalistic risky decision tasks. *Acta Psychologica*, 95(1), 15–29.
- Johnson, E. J., Schulte-Mecklenbeck, M., & Willemsen, M. C. (2008). Process models deserve process data: Comment on Brandstätter, Gigerenzer, and Hertwig (2006). *Psychological Review*, 115(1), 263–272.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–292.
- Kim, B. E., Seligman, D., & Kable, J. W. (2012). Preference reversals in decision making under risk are accompanied by changes in attention to different attributes. *Frontiers in Neuroscience*, 6, 109.
- Klos, A., Weber, E. U., & Weber, M. (2005). Investment decisions and time horizon: Risk perception and risk behavior in repeated gambles. *Management Science*, 51(12), 1777–1790.
- Krajbich, I., Armel, C., & Rangel, A. (2010). Visual fixations and the computation and comparison of value in simple choice. *Nature Neuroscience*, 13(10), 1292–1298.
- Krajbich, I., & Rangel, A. (2011). Multialternative drift-diffusion model predicts the relationship between visual fixations and choice in value-based decisions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(33), 13852–13857.
- Krajbich, I., Lu, D. C., Camerer, C., & Rangel, A. (2012). The attentional drift-diffusion model extends to simple purchasing decisions. *Frontiers in Psychology*, 3, 193.
- 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.
- Langer, T., & Weber, M. (2001). Prospect theory, mental accounting, and differences in aggregated and segregated evaluation of lottery portfolios. *Management Science*, 47(5), 716–733.
- Li, S. (2003). The role of expected value illustrated in decision-making under risk: Single-play vs multiple-play. *Journal of Risk Research*, 6(2), 113–124.
- Li, S. (2004). A behavioral choice model when computational ability matters. *Applied Intelligence*, 20(2), 147–163.
- Li, S., Zheng, R., & Li, L. B. (2007). Do shared features of offered alternatives have an effect in consumer choice?. *Journal of Economic Psychology*, 28(6), 658–677.
- Lohse, G. L., & Johnson, E. J. (1996, 3-6 Jan 1996). *A comparison of two process tracing methods for choice tasks*. Paper presented at the System Sciences, 1996. Proceedings of the Twenty-Ninth Hawaii International Conference on.
- Luce, R. D., & Raiffa, H. (1957). *Games and decisions: Introduction and critical survey*. New York, NY: Wiley.
- Meißner, M., & Decker, R. (2010). Eye-tracking information processing in choice-based conjoint analysis. *International Journal of Market Research*, 52(5), 593–612.
- Milosavljevic, M., Navalpakkam, V., Koch, C., & Rangel, A. (2012). Relative visual saliency differences induce sizable bias in consumer choice. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 67–74.
- Orquin, J. L., Bagger, M., & Mueller Loose, S. (2013). Learning affects top down and bottom up modulation of eye movements in decision making. *Judgment and Decision Making*, 8(6), 700–716.
- Orquin, J. L., & Mueller Loose, S. (2013). Attention and choice: A review on eye movements in decision making. *Acta Psychologica*, 144(1), 190–206.
- Orquin, J. L., Scholderer, J., & Jeppesen, H. (2012). What you see is what you buy: How saliency and surface size of packaging elements affect attention and choice. *Paper presented at the Society for Advancement of Behavioural Economics, Granada, Spain*.
- Partala, T., & Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1–2), 185–198.
- Pärnamets, P., Johansson, P., Hall, L., Balkenius, C., Spivey, M. J., & Richardson, D. C. (2015). Biasing moral decisions by exploiting the dynamics of eye gaze.

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(13), 4170–4175.
- Payne, J. W. (1976). Task complexity and contingent processing in decision making: An information search and protocol analysis. *Organizational Behavior and Human Performance*, 16(2), 366–387.
- Payne, J. W., & Bettman, J. R. (2004). Walking with the scarecrow: The information-processing approach to decision research. In *Blackwell handbook of judgment and decision making* (pp. 110–132). Blackwell Publishing Ltd.
- Pieters, R., & Warlop, L. (1999). Visual attention during brand choice: The impact of time pressure and task motivation. *International Journal of Research in Marketing*, 16(1), 1–16.
- Reisen, N., Hoffrage, U., & Mast, F. W. (2008). Identifying decision strategies in a consumer choice situation. *Judgment and Decision Making*, 3(8), 641–658.
- Reutskaja, E., Nagel, R., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2011). Search dynamics in consumer choice under time pressure: An eye-tracking study. *The American Economic Review*, 101(2), 900–926.
- Riedl, R., Brandstätter, E., & Roithmayr, F. (2008). Identifying decision strategies: A process- and outcome-based classification method. *Behavior Research Methods*, 40(3), 795–807.
- Russo, J. E. (1978). Eye fixations can save the world: A critical evaluation and a comparison between eye fixations and other information processing methodologies. *Advances in Consumer Research*, 5(1), 561–570.
- Russo, J. E., & Doshier, B. A. (1983). Strategies for multiattribute binary choice. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9(4), 676–696.
- Russo, J. E., & Leclerc, F. (1994). An eye-fixation analysis of choice processes for consumer nondurables. *Journal of Consumer Research*, 21(2), 274–290.
- Russo, J. E., & Rosen, L. D. (1975). An eye fixation analysis of multialternative choice. *Memory & Cognition*, 3(3), 267–276.
- Samuelson, P. A. (1963). Risk and uncertainty: A fallacy of large numbers. *Scientia*, 98(612), 108–113.
- Savage, L. J. (1954). *The foundations of statistics*. New York: Wiley.
- Schotter, E. R., Berry, R. W., McKenzie, C. R. M., & Rayner, K. (2010). Gaze bias: Selective encoding and liking effects. *Visual Cognition*, 18(8), 1113–1132.
- Schulte-Mecklenbeck, M., Kühberger, A., & Ranyard, R. (2011). The role of process data in the development and testing of process models of judgment and decision making. *Judgment and Decision Making*, 6(8), 733–739.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., & Scheier, C. (2003). Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature Neuroscience*, 6(12), 1317–1322.
- Simion, C., & Shimojo, S. (2006). Early interactions between orienting, visual sampling and decision making in facial preference. *Vision Research*, 46(20), 3331–3335.
- Simion, C., & Shimojo, S. (2007). Interrupting the cascade: Orienting contributes to decision making even in the absence of visual stimulation. *Perception & Psychophysics*, 69(4), 591–595.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99–118.
- Simon, H. A., (1986). Decision making and problem solving. *Research briefings 1986: Report of the research briefing panel on decision making and problem solving*. The National Academy of Sciences. National Academy Press, Washington DC.
- Spivey, M. J., Grosjean, M., & Knoblich, G. (2005). Continuous attraction toward phonological competitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(29), 10393–10398.
- Suter, R. S., Pachur, T., & Hertwig, R. (2015). How affect shapes risky choice: Distorted probability weighting versus probability neglect. *Journal of Behavioral Decision Making*, doi: 10.1002/bdm.1888.
- Sütterlin, B., Brunner, T. A., & Opwis, K. (2008). Eye-tracking the cancellation and focus model for preference judgments. *Journal of Experimental Social Psychology*, 44(3), 904–911.
- Su, Y., Rao, L.-L., Li, X. S., Wang, Y., & Li, S. (2012). From quality to quantity: The role of common features in consumer preference. *Journal of Economic Psychology*, 33(6), 1043–1058.
- Su, Y., Rao, L.-L., Sun, H.-Y., Du, X.-L., Li, X. S., & Li, S. (2013). Is making a risky choice based on a weighting and adding process? An eye-tracking investigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 39(6), 1765–1780.
- Sun, H. Y., Rao, L. L., Zhou, K., & Li, S. (2014). Formulating an emergency plan based on expectation-maximization is one thing, but applying it to a single case is another. *Journal of Risk Research*, 17(7), 785–814.
- Svenson, O. (1979). Process descriptions of decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 23(1), 86–112.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297–323.
- van Herpen, E., & van Trijp, H. C. M. (2011). Front-of-pack nutrition labels. Their effect on attention and choices

- when consumers have varying goals and time constraints. *Appetite*, 57(1), 148–160.
- van Raaij, F. W. (1977). Consumer information processing for different information structures and formats. *Advances in Consumer Research*, 4(1), 176–184.
- Venkatraman, V., Payne, J. W., & Huettel, S. A. (2014). An overall probability of winning heuristic for complex risky decisions: Choice and eye fixation evidence. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 125(2), 73–87.
- von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. Princeton: Princeton University Press.
- Weber, E. U., & Johnson, E. J. (2009). Mindful judgment and decision making. *Annual Review of Psychology*, 60(1), 53–85.
- Wedell, D. H., & Senter, S. M. (1997). Looking and weighting in judgment and choice. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 70(1), 41–64.
- Zhou, L., Zhang, Y.-Y., Wang, Z.-J., Rao, L.-L., Wang, W., Li, S., ... Liang, Z.-Y. (2015). A scanpath analysis of the risky decision-making process. *Journal of Behavioral Decision Making*, (accepted)

Decision Process Tracing: Evidence from Eye-movement Data

WEI Zi-Han; LI Xingshan

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

Abstract: Process tracing techniques facilitate tracing of cognitive process behind decision-making behaviors, thereby clarifying “how people make decisions.” The eye-tracking technique is a type of process tracing technique with the following advantages: 1) does not interfere with the decision-making process, 2) applicable in different experimental conditions for different samples, and 3) can provide informative process data. Eye-tracking techniques are useful in testing or comparing different decision-making models. These techniques aid researchers in the following tasks: assessing the different process hypotheses of both compensatory and non-compensatory theories in risk decision-making fields, determining different cognitive processes between multiple-play decision and single-play decision, and comparing and assessing different predictions of the “cancellation-and-focus model” and “equate-to-differentiate model” on how common features affect multiple-attribute decisions.

Key words: decision process tracing techniques; eye-tracking; compensatory theories; non-compensatory theories; multiple-play decisions; single-play decisions; cancellation-and-focus model; equate-to-differentiate model

通讯作者简介:

李兴珊, 男, 2007年毕业于美国马萨诸塞大学阿默斯特分校, 获心理学博士学位。目前为中国科学院心理研究所“百人计划”研究员, 博士生导师。主要研究领域为汉语阅读、眼动控制、基于物体的视觉注意、决策的眼动过程等, 其代表性成果发表在顶级心理学期刊上(如 *Journal of Experimental Psychology: General*, *Cognitive Psychology*, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*; *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*等), 其中一篇论文(Li & Pollatsek, 2011)被评为2011年度美国实验心理学会最佳论文奖。