

# The Application of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Decision Making Research

Tong Zhao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior of Tianjin Normal University, Tianjin

<sup>2</sup>Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin  
Email: psyzhaotong@163.com

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2019; accepted: Aug. 14<sup>th</sup>, 2019; published: Aug. 21<sup>st</sup>, 2019

---

## Abstract

Functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) has become an important research tool for exploring the neural mechanisms of decision making gradually. The scientific answer of "how human beings make decisions" could be examined by neural mechanism under decision making, which can be measured by fNIRS with higher ecological validity. This paper first summarizes the advantages of fNIRS when exploring neural mechanisms under decision making, and then we review the progress of fNIRS research in decision making field. At present, researchers have explored the phenomenon and neural mechanisms of gender differences, personality differences, group differences in risk decision making, inter-temporal choice, social decision making and consumer decision making. Finally, it points out that combining with other neuroimage technologies, conducting research with abnormal individuals, and optimizing analytical methods by taking advantages of fNIRS could explain the psychological mechanism of human decision making in the future.

## Keywords

Functional Near-Infrared Spectroscopy, Decision Making, Neural Mechanism

---

# 功能性近红外光谱成像(fNIRS)在决策中的应用

赵彤<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>天津师范大学心理与行为研究院, 教育部人文社会科学重点研究基地, 天津

<sup>2</sup>天津师范大学心理学部, 天津  
Email: psyzhaotong@163.com

收稿日期: 2019年7月25日; 录用日期: 2019年8月14日; 发布日期: 2019年8月21日

## 摘要

功能性近红外光谱成像(fNIRS)现已逐渐成为探究决策的神经机制的一项重要研究工具,利用具有高生态效度的fNIRS技术考察决策背后的神经机制或许可以真正解答“人类是如何做出决策”这一科学问题。本文首先总结fNIRS研究决策神经机制的优势,其次梳理了决策领域应用fNIRS的研究进展,目前已经在风险决策、跨期决策、社会决策和消费者决策等领域探究了决策的性别差异、人格差异、群体差异等现象及其神经机制。最后指出未来可以充分利用fNIRS的优势开展多模态、特殊群体等更为广泛的研究,优化分析方法,进一步阐释人类决策过程的心理机制。

## 关键词

功能性近红外光谱成像, 决策, 神经机制

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

决策(decision-making)是人类根据自己的意愿和信念选择行动的过程(庄锦英, 2006),是人类行为的重要组成部分(方平, 陈满琪, & 姜媛, 2009)。在生存与进化的几十万年来,人类通过自然选择获得了一种叫做“做出更好的决策”的技能(李纾, 梁竹苑, & 孙彦, 2012)。“人类是如何做出决策”这一问题心理学家一直以来致力探求和解答的。近二十年,随着认知神经科学的快速发展,脑成像技术成为神经科学最盛行的工具(刘长江&李纾, 2007),利用这些技术可以明确决策行为与大脑之间的对应关系并探索决策心理背后的神经机制。功能性近红外光谱成像(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)作为近年来新兴起的脑成像技术,因其成本低、对动作有一定的容忍度、适用于更加真实的实验环境而备受研究者青睐。本文从fNIRS应用于决策研究的优势入手,总结决策行为各领域的fNIRS研究进展,在已有研究基础上对fNIRS在决策中的应用前景提出建议与展望。

## 2. fNIRS 应用于决策研究的优势

### 2.1. fNIRS 具备进行决策研究的脑成像技术前提

fNIRS 是利用光学成像原理实现对大脑浅皮层血流动力响应的测量,常被称为“光学窗口”(Jöbsis-vander Vliet, 1999; Kopton & Kenning, 2014)。近红外光波的波长约为 650 至 950 毫米,可以无创伤地直接照射到头皮几厘米深的组织中(Scholkmann et al., 2013)。尽管 fNIRS 无法探测到大脑深层结构的血流变化(例如与记忆相关的海马),但其对大脑浅皮层的血氧动力变化十分敏感(刘宝根, 周兢, & 李菲, 2011)。决策行为涉及的绝大部分脑区均位于大脑浅皮层,例如前额叶、眶额叶和颞顶联合区等,这些区域的血氧动力学响应均可通过 fNIRS 测量(Piva, Zhang, Noah, Chang, & Hisch, 2017),因此 fNIRS 具备进行决策研究的脑机制探究的技术前提。

### 2.2. fNIRS 采集环境舒适, 贴近自然决策情景

fNIRS 仪器噪音较低,对动作有一定的容忍度,为被试在实验室进行贴近自然情境下的决策提供

了基础。与高噪音、封闭性较强的功能性磁共振成像(fMRI)相比, fNIRS 在实验过程中对被试干扰较少, 提供了舒适的实验环境。与操作复杂、对动作敏感的事件相关电位(ERP)相比, fNIRS 仪器佩戴体验更佳, 并且不会严格限制被试的动作。这些技术优势有利于个体进行更真实地决策, 保证了研究的有效性。

### 2.3. fNIRS 适用范围广泛

fNIRS 由于其仪器和技术两方面的优势, 既适用于在广泛的被试群体中开展决策研究, 又能应用于多样化的决策任务, 因此成为研究决策神经机制的重要工具。从仪器构成上看, fNIRS 仪器体积较小, 易于移动, 除在实验室采集数据之外, 还可以完成长时间的床边检测(叶佩霞, 朱睿达, 唐红红, 买晓琴, &刘超, 2017), 这有利于开展临床病人的决策研究。此外, fNIRS 设备分为便携式和非便携式两种, 便携式 fNIRS 设备可以佩戴在被试身上, 对被试身体活动几乎没有影响, 因此可以进行决策的现场研究, 例如记录个体在超市进行消费决策的脑活动。

从技术原理上看, 如上文所提到的 fNIRS 对动作有一定的容忍度, 这对于研究儿童或特殊群体的决策心理特点是十分有利的(Yang & Chen, 2013)。同时, fNIRS 在实验任务上不被束缚, 研究者既可以通过设置选项探究决策行为, 也可以引导被试进行开放式回答或出声发言, 了解其决策的过程。此外, 借助 fNIRS 进行决策研究的生态效度较好。相比于其他脑成像技术, fNIRS 更适合开展应用领域的决策研究, 例如投资决策、消费者决策等(Shimokawa, Suzuki, Misawa, & Miygawa, 2009; Kim, Kim, Han, Lim, & Im, 2017)。

此外, fNIRS 在揭示群体决策的神经机制上同样具有非常大的技术优势。心理学研究者借助脑成像技术可以深入了解个体做决策时的大脑活动, 但由于技术局限, 几乎所有的研究采用的是人-机互动的实验设计, 这会导致被试在决策时失去社会线索(例如眼神接触、面部表情和身体动作)或其他内容的参考, 降低了实验的生态效度。Lee, Dai 和 Jones (2012)为了在 fMRI 中实现双人互动而开发了一个新颖的双人头部放置架, 两名被试一起进行成像扫描。事实上, 这种解决方法是一种“治标不治本”的改进, 甚至这样的空间设置可能对两名被试的共同决策带来不可预见的影响。相比之下, fNIRS 可以实现多人同步交互式记录(郭欢, 杜莎, 朱绘霖, &申荷永, 2017), 即同时记录两人及以上个体的脑活动情况, 同时在场地和动作上均没有局限, 这避免了人-机互动的不真实感, 实现了对群体决策时的个体脑活动的全面记录。

## 3. fNIRS 研究决策的进展

### 3.1. 风险决策

现实生活中充满了不确定性, 而这些不确定性往往伴随着损失或收益的风险, 因此风险决策是人们日常生活中常见的一种决策形式, 同时也是决策与经济等领域的研究方向之一。风险决策(Risky Decision Making)是指个体在已知不同选项及其概率的不确定情境中, 权衡不同选项的主观预期价值从而做出决策的过程(Kahneman, 2003)。梳理以往文献发现, 研究者们已经在仿真气球冒险任务、哥伦比亚卡牌游戏、爱荷华赌博、投资任务、纸牌游戏等范式中利用 fNIRS 探究风险决策的神经机制, 以下分别进行总结。

#### 3.1.1. 仿真气球冒险任务

仿真气球冒险任务(Balloon Analogue Risk Task, BART)是一种接近现实生活中真实风险决策的认知任务(Lejuez et al., 2002; 徐四华, 方卓, &饶恒毅, 2013), 被试需要对程序中仿真的气球充气, 气球变大的过程伴随着收益的增加和吹破(无收益)几率的增加, 为保证收益被试要连续择继续对气球充气还是停止。BART 任务能提供多个行为指标来测量个体的风险决策行为(Baker & Maner, 2009; Bornovalova et al.,

2009; Dean, Sugar, Hellemann, & London, 2011; Kathleen Holmes et al., 2009; Lejuez et al., 2002), 例如未爆气球被吹的平均次数和吹爆气球的个数可以用来测量个体的风险偏好水平, 前次气球吹爆与否对当前气球被吹次数的影响大小可以用来测量个体在风险决策中的反馈学习效应(徐四华, 方卓, & 饶恒毅, 2013)。有研究者对 BART 进行改进, 在实验中设置被动决策(控制组), 被试仅观察计算机随机生成的充气过程, 体现视觉通路的激活, 与主动条件(原始 BART)的对比就剥离出了个体决策过程的神经活动(Rao, Korczykowski, Pluta, Hoang, & Detre, 2008), 因此这种改进版的 BART 任务更加适用于神经机制的研究。

借助改进版的 BART, Cazzell 和他的同事们考察了个体风险决策的性别差异、年龄差异和决策结果对其的影响(Cazzell, Li, Lin, Patel, & Liu, 2012; Lin, Li, Cazzell, & Liu, 2013; Lin, Li, Cazzell, & Liu, 2014)。Cazzell 等人(2012)首先发现主动决策时前额叶皮层有显著的激活, 而被动条件下则没有。同时还发现了风险决策的性别差异背后的神经机制, 主动条件下失败时, 女性的双侧背外侧前额叶的激活程度要显著高于男性, 而成功时背外侧前额叶没有发现显著的性别差异。这一研究结果经过对方法学的改进后使用 18 名和 37 名被试分别进行实验, 结果与前期研究一致, 均发现了在主动决策条件下背外侧前额叶激活的性别差异(Lin et al., 2013, 2014)。随后, 该团队招募了 40 名年轻人和 60 名老人完成改进的 BART 任务, 结果发现在前额叶皮层激活的模式、振幅和脑与行为的相关度上均存在年龄差异, 老年个体中发现了前额叶更大面积的激活但伴随的是激活振幅的降低。行为和脑的相关结果表明年轻人更趋近于冒险, 而老年人则更倾向风险规避。此外, 在年轻被试中也发现了性别差异, 而老年被试无论男女均在失败条件下表现出很强的前额叶激活和风险规避的行为倾向(Li, Cazzell, Zeng, & Liu, 2017)。

Holper, Scholkmann, 和 Wolf (2014)将 fNIRS 与皮肤电活性(EDA)相结合, 记录任务中的个体的外周皮肤电反应(SCR)和血氧动力学反应, 对两种反应在时间序列上的一致性进行讨论。实验结果发现, 在气球充气期, 个体进行冒险行为(对风险和奖赏寻求)往往伴随着血氧动力学反应和外周皮肤电反应的增强; 在反馈期, 与获得回报相比, 没有回报时个体的血液动力学信号更低而皮肤电则更大。两个时期发现了显著的 fNIRS-EDA 的一致性, 即血氧动力学和外周皮肤电在时间序列上变化一致, 心跳在其中的变化引起了两种信号的耦合从而增强 fNIRS-EDA 的一致性, 因此认为风险决策行为是增强 fNIRS-EDA 一致性的关键因素。

此外, 临床方面, 研究者选取病理性赌博被试和健康控制组被试, 对比他们在正常版本和高收益版本 BART 中的差异(Lin, Xu, Jeong, & Yuan, 2017)。结果显示在正常版本的气球模拟风险任务中, 赌博被试表现出对获胜的高响应(左右额中回)、对失败的低响应(前额叶), 而有趣的是在高收益版本的版本中结果与之相反, 赌博被试组表现出对获胜的低响应(前额叶)和失败的高响应(右侧额中回)。研究结果证明具有赌博障碍的个体与正常个体在风险决策中的脑活动不同, 赌博障碍个体大脑对高收益反应更大, 这可能是其行为障碍的神经机制。

### 3.1.2. 哥伦比亚卡牌游戏

哥伦比亚卡牌任务(Columbia Card Task, CCT)是一个动态风险决策任务, 评估被试在任务中何时自愿停止冒险行为, 主要关注决策行为受到哪些因素的影响, 任务中包含三个信息——收益金额、损失金额和损失概率。由于 CCT 任务中会根据提供的信息而进一步进入不同的阶段, 因此该任务存在两个不同的版本: 热版本和冷版本, 它们在触发决策过程时有差异, 热版本的 CCT 任务由于增加了对风险的承担, 所以触发更多的情感型决策; 冷版本的 CCT 任务由于风险较低, 因此触发更多审慎型决策。

Holper 和 Murphy (2014)在 CCT 任务基础上进行微调, 增加了 7 秒的空屏使得 fNIRS 血氧水平记录完整、有效, 同时记录皮肤电(EDA)变化情况。结果发现, 与热版本 CCT 任务相比, 被试在冷版本 CCT 任务决策阶段的总血红蛋白浓度变化更大, 皮肤电导反应更低, 而在结果阶段两个版本无显著结果, 并且热版本任务比冷版本任务的 fNIRS 和 EDA 在心率频率上的一致性更高。研究证明了个体在风险决策中

有损失厌恶的心理现象, fNIRS 和 EDA 的一致性结果证明了 Kahneman 和 Tversky (1972) 提出的风险决策时会整合直觉和推理两种模式, 与本实验中的热版本和冷版本任务对应。

此外, 研究者们对 CCT 进行了改造, 提出了一个新的范式叫做“一个接一个”任务(just one more, JOM; Holper, ten Brincke, Wolf, & Murphy, 2014), 它与 CCT 规则基本一致, 但 JOM 任务是一种“有放回”地抽取, 破产率固定不变, 这明确了研究核心是风险决策而非不确定性, 有助于系统地探究价值和风险对决策的影响。Holper, ten Brincke, Wolf 和 Murphy (2014) 将 fNIRS 和 EDA 相结合, 结果发现在决策阶段背外侧前额叶的 fNIRS 信号与平均收益呈正相关, 因此 Holper 等人推测 fNIRS 信号可以作为探究风险态度和任务表现关系的指标之一。以上研究不仅证明了 fNIRS 在动态风险决策中的可用性, 还证明了 fNIRS 与皮肤电的结合能进一步探究血氧动力学和情绪反应的相互作用, 提示了技术方法在预测决策行为方面的研究潜力, 为今后决策研究提供了新的思路与方法。

### 3.1.3. 爱荷华赌博

爱荷华赌博(Iowa gambling task, IGT)也是风险决策常见的范式之一, 能很好地模拟真实生活中的决策, 任务中的参数也易于调整以完成目标不同的研究(蔡厚德, 张权, 蔡琦, & 陈庆荣, 2012)。将 IGT 应用在 fNIRS 研究中时主要关注两个方面——决策者的特点和决策的过程。

对决策者特点的研究中, Hammers 和 Suhr(2010)首次将 fNIRS 应用于 IGT, 研究者将有多物质使用背景的本科生和正常(进行冲动人格匹配的)本科生相对比。结果显示多物质使用的本科生在 IGT 期间他们的背外侧前额叶的氧合血红蛋白水平较低, 这是多物质使用组的大脑特异性的体现。采用类似的实验任务, 该团队还根据决策是否成功进行分类, 结果发现 IGT 失败者与成功者相比双侧背外侧前额叶血氧浓度相对较低(Suhr & Hammers, 2010)。以上的研究借助了 fNIRS 观察不同被试大脑血氧的变化, 但关注点集中于行为所反映出的心理机制以及其他影响决策行为的因素, 而没有深入探讨与决策心理相关的脑机制。Ono 等人(2015)研究双相障碍患者与正常人在风险决策任务中前额叶的血氧水平是否有差异, 结果发现前额叶和眶额叶的血氧水平可以区分双相障碍患者和正常个体, 患者的激活水平更低, 这与冲动型人格、注意力和工作记忆等认知过程相关。该研究利用 fNIRS 实现了心理健康水平正常与异常个体的识别, 为临床领域的决策研究开辟了新的方向。

对决策过程的研究方面, Bembich 等人(2014)根据时间进程将决策过程平均划分为四个阶段, 研究了风险决策过程与血氧水平的关系。结果发现, 在第一阶段, 背外侧前额叶的激活与低风险选择相关, 而在第二阶段其激活与高风险的选择相关。然后, 背外侧前额叶的激活水平在第三和第四阶段下降到非显著水平。结果说明在 IGT 任务中的前半部分背外侧前额叶在发挥认知功能上做出了重大贡献, 研究者推测随着任务的进行, 背外侧前额叶维持认知功能的作用减弱, 但后续认知加工与何脑区有关尚不可知。

### 3.1.4. 投资任务

现实生活中, 在风险情境下进行金钱决策是十分常见的, 小到个体买彩票、买理财, 大到企业收购、并购, 这些都围绕着风险进行投资决策, 个体的风险态度是影响投资决策的重要因素之一。Holper, Wolf 和 Tobler (2014)利用投资财政决策任务, 采用 fNIRS 和皮肤电技术记录大脑血氧水平和外周皮肤电反应(EDA)。在控制了期望值和风险两个因素的高低水平后, 20 名被试需要在安全选项和风险选项中做出决策, 根据个体的决策判定其风险态度属于风险寻求还是风险规避, 然后比较不同风险态度的个体在面对高低水平的风险选项进行决策时的生理表现。结果发现, 风险寻求被试对高风险水平选项在外侧前额叶的激活更强, 风险厌恶的被试对低风险水平的激活更强, 这种反应与态度呈负相关表明了个体的主观风险价值处理的过程。高风险时还发现了血氧动力性和皮肤电响应之间的一致性增加, 这证明了决策过程中心和外周生理系统在时间方面的一致性。研究表明通过 fNIRS 测量的外侧前额叶皮质血氧动力学响应

能够很好的反应风险决策种的主观价值，而皮肤电反应是客观风险的情绪表现。

随着神经成像技术和神经科学的发展，研究者们将目光从单纯地描述和解释投资风险决策行为转移到了预测个体的行为，即通过神经活动预测个体在风险情境的投资行为，并致力于提高其准确程度和在真实情境中的可用性。Shimokawa 等人(2009)利用 fNIRS 记录进行投资任务时个体的内侧前额叶皮质(MPFC)和额眶皮质(OFC)血氧动力学响应情况。被试在掌握一定初始资金的情况下，根据股票价格变化决定投资的比例，实验程序会实时反应资金和股票的变化。实验结果发现 MPFC 和 OFC 的氧合血红蛋白浓度增加情况可以通过模型精准地预测被试的投资行为。随后，该团队进一步开发了基于大脑信息辅助的智能投资系统，该系统能从多个个体的脑活动信息中有选择地选取有用的个体大脑信息，从而提升风险情境中的投资行为表现(Shimokawa, Kinoshita, Miyagawa, & Misawa, 2012)。

### 3.1.5. 纸牌游戏

为了更加真实地模拟真实生活中的风险决策行为，有研究者采用近红外超扫描及时记录被试在真实、自然情景中玩纸牌游戏时的大脑活动(Zhang, Liu, Pelowski, Jia, & Yu, 2017)。实验中发给被试标有数字的纸牌，两名被试在游戏中轮流扮演银行家和跟随者的角色，银行家可以看自己的牌并且下注，跟随者不能看牌，需要根据银行家的下注决定是否跟注。如果跟随者不跟注，那么银行家自动赢得筹码；如果跟注，则下注钱数必须大于等于银行家的钱数，随后由主试揭晓底牌并认定数字大的一方为获胜者，获胜方获得所有筹码，根据下注行为判定被试的冒险行为类型是风险规避、风险寻求或中立。fNIRS 脑内分析结果显示，风险寻求行为比风险规避行为更能引起前额叶中部(mPFC)、额下回和颞顶联合区(TPJ)的激活，这表明了在决策任务中心智化脑网络的重要性。脑间神经同步结果显示，无论女性还是男性被试对都能在 mPFC 和背外侧前额叶(dIPFC)发现显著的脑间一致性，女性被试对还在左侧 TPJ 也表现出脑间一致性。因此研究者认为男性与女性在进行风险决策时运用了不同的能力，即男性主要依靠非社会认知能力，女性除此之外还使用了社会认知能力。该研究很好地发挥了 fNIRS 对动作容忍度高这一优势，将以往的人-机互动式卡牌游戏变为人-人互动进行决策，从神经同步性的角度揭示了社会风险决策的性别差异，同时对差异之下的心理机制进行了充分的解释说明。

## 3.2. 跨期决策

日常生活中，人们常需要对现在与未来不同时间点的利益进行选择，即跨期决策或跨期选择(intertemporal choice; 利振华, 窦凯, & 聂衍刚, 2018)。Heinzel 等人(2013)利用跨期决策范式比较了 fNIRS 和 fMRI 在记录个体前额叶活动上的差异，同时讨论了奖赏敏感性与两种记录手段的激活情况的关系。实验招募了 24 名被试完成经典的跨期决策任务，即在“小而早”和“大而迟”两种奖赏条件中选择一个，被试还需完成奖励敏感性问卷。实验结果发现在跨期决策期间，fNIRS 和 fMRI 均发现在右侧额中回和右侧额下回有所激活，fNIRS 和 fMRI 信号在时间序列上有显著的相关性。此外，奖赏敏感性越高，fMRI 和 fNIRS 信号的相关性越强，fNIRS-fMRI 相关性越低。此研究从技术方面认可了多模态研究的可能性，证明了 fNIRS-fMRI 联合记录决策任务脑成像的有效性，但有关 fNIRS 的多模态研究还没有其建立一套清晰的数据处理与分析的方法，因此此类研究的可重复性以及数据结果分析技术上的有效性还有待考究。

## 3.3. 社会决策

在社会中存在大量的人际交往，人们需要与他人进行接触，根据其语言、神态、姿态等方面对其进行判断，从而形成对某件事的决策，同时还需要实时给予反馈进行互动，针对这个博弈的过程心理学研究者开展了大量的实验室研究，其中就有人围绕信任、合作等决策过程开展 fNIRS 的研究。

### 3.3.1. 信任博弈

信任是一种内化的、稳定的心理状态,需要通过决策行为实现,因此诞生了适用于实验室实验的信任博弈(trust game)。贾尧(2016)探究面孔信息与收益对信任影响,关注其神经机制的特点,尤其是前额叶在信任博弈时的激活情况。信任博弈范式模拟了在没有契约保障下的经济交易行为(马庆国,沈强,李典典, & 王凯, 2009),被试需要与计算机程序显示的可信面孔或不可信面孔进行博弈,被试身为投资者(信任方)拥有初始资金,在每次面孔出现之后被试决定是否出资。如果投资,那么受托人(被信任方)就会获得收益(高、低两种水平),由受托人决定是否将所获得资金返还投资者一半;如果投资者不投资,则保留初始的资金。结果发现背外侧前额叶(dIPFC)与信任博弈有密切关系,可信的面孔比不可信的面孔更能引起dIPFC的激活、收益高与收益低相比也更能引起dIPFC的激活,研究证实了背外侧前额叶在信任中起到的认知调控作用,为信任的神经机制研究作出了贡献。

### 3.3.2. 最后通牒博弈

与信任博弈相类似,最后通牒任务中也体现了双人互动博弈的过程。Tang 等人(2016)利用fNIRS同时记录两个被试在进行最后通牒博弈时右侧颞顶联合区和右背外侧前额叶大脑活动。在这项研究中,通过设置挡板控制了是否面对面进行博弈,同时在经典的最后通牒任务的基础上增加了两个新的环节:第一,分配金钱之前,提议者在看到资金数目时,可以选择欺骗回应者,即报告出一个更低的数目;第二,提议者必须在提出建议之后判断回应者是否会接受,此时回应者判断建议者是否诚实报告所有数目。这个修改版的最后通牒博弈能够更好的了解个体对他人意图的推测,新增加的两个阶段和设置面对面和不对面两种条件能够为了解非言语信息在决策过程中的作用提供重要的证据。本研究结果也确实发现,面对面交互不仅会增加陌生人之间的共享意向,从而带来更多的合作决策和更高的收益,还会增加双人在颞顶联合区血氧水平的同步性。该研究证明了颞顶联合区在面对面进行决策时发挥了重要作用,尤其是推测他人意图的功能,这不仅揭示了面对面交互的心理机制与神经机制,也为进一步探究面对面交互中非言语线索的作用拓展了新的方向。

### 3.3.3. 懦夫博弈

有研究者利用懦夫博弈(Chicken Game)考察人际间的合作与冲突,一共两人参与博弈,在博弈时被试可以选择合作或者冲突,博弈结果可能有三种情况:如果双方均选择合作,则每人收益10元;如果双方均选择冲突,则每人损失20元;如果一方选择合作而另一方选择冲突,则选择冲突的一方收益20元,选择合作的一方损失10元。懦夫博弈更加贴近真实生活中的决策情景,即决策大多数无法预知准确的结果,而更多情况下需要根据外部因素(他人决策)共同决定,因此背叛对方不是最佳策略,和对方的决策有差异才能使个体收益最大。懦夫博弈主要是关注人际互动中的决策,决策主体不是单纯为自己做出决策,而要对他人的决策行为进行预期,因此另一人的身份会对决策产生影响。惠砾潼(2017)采用懦夫博弈,通过操控决策另一方的身份是否与自己同属一个群体,探究了对群体内和群体外成员选择合作和冲突时的大脑血氧相应情况。最终发现由于群体身份和决策策略暴露出显著差异从大脑活动的层面上证明了背外侧前额叶与执行控制和推理相关,额极与冲动控制有关,眶额皮层与追求奖赏有关,为进一步研究如何提高决策质量及深入开发其脑机制原理起到了一定的推动作用。

## 3.4. 消费者决策

消费者决策主要受个人对产品的主观偏好的影响,人们通常在积极情绪最大化和负面情绪最小化的基础上进行消费行为。因此,准确地估计消费者对特定产品的主观偏好被认为是神经经济学和消费心理学研究的一个重要目标。Luu 和 Chau (2009)基于脑机接口(BCI)的原理,利用多通道频域近红外装置对个

体的主观偏好进行探究。被试根据自己的偏好在所呈现的两种饮料中进行选择,通过 fNIRS 平均信号幅度的简单特征和线性判别分析发现内侧前额叶皮层的血氧浓度变化可以解码被试的主观偏好,其平均准确度为 80%。研究结果证明利用 fNIRS 可以解码个体在二元决策中的主观偏好,为今后开发脑机接口对个体的主观偏好进行分类评估以及在真实情境下进行消费者决策的研究提供了基础。Kim 等人(2017)对关注的产品的偏好会在哪些皮层区域显示出一致的 fNIRS 信号进行了探究。实验中被试首先需要完成对食物的主观偏好评分,以便选择出适当的刺激图片(偏好的和较不偏好的)。正式实验中会依次呈现偏好水平不同但属同类别的两个食物,被试评估他们对产品的主观偏好。结果发现,当提供较不偏好的产品图片时,被试右前额区域中右侧眶额叶皮层(rOFC)的氧血红蛋白浓度显著提升,该区域与负性情绪相关联,这可能会影响个体的消费行为。该研究佐证了 fNIRS 是神经经济学和消费心理学研究中的重要工具,同时也提出了右前额区域中的血液动力学反应可以用作估计个体对某种产品的主观偏好的指标。

## 4. 小结与展望

通过梳理可以发现,近十年来 fNIRS 成为决策领域研究的新兴技术,研究者不仅利用 fNIRS 在技术上的优势对决策的脑机制进行了深入的探究,提高了研究的生态效度,而且在不同的决策任务中获得了大量进展,丰富了风险决策、跨期决策、社会决策、消费者决策等多个领域的研究成果。脑机制方面,已经发现了前额叶中与决策行为密切相关的几个脑区,它们在不同的决策中发挥着不同的功能, fNIRS 与 fMRI 的研究结果一致,证明了利用 fNIRS 研究决策过程背后神经机制的可用性。研究进展方面,虽然决策任务各不相同,但是均发现了决策中存在的性别差异、年龄差异,以及对决策行为有影响的人格因素和环境因素等。更重要的是,这些差异不仅表现在个体的行为上,更多体现在大脑血氧水平的变化不同,这些差异证明了 fNIRS 在决策的脑机制研究中的应用潜力。结合 fNIRS 的技术特点和决策的研究进展,未来的研究可以从以下四个方面对决策的脑机制进行进一步的探究。

### 4.1. 改进实验范式,提升生态效度

众所周知,实验室实验有其自身的弊端,单调、纯粹的实验内容成为判定研究质量的双刃剑。在决策研究中,经济学家们提倡这样简单的范式,因为它们能尽可能地消除一些与决策内容本身无关的因素,例如决策另一方的特征或者所谓的名誉效应,然而这些被经济学家们忽略的内容往往是心理学家研究的重点(Rilling & Sanfey, 2011)。正是因此,决策心理学研究中需要更真实的研究范式,这不仅促使被试的表现与真实相符,也有利于探究更贴近真实情景的大脑活动。对于未来决策的 fNIRS 研究可以从两方面提高生态效度:第一,从范式的内容提高生态效度,基础研究的范式可以添加更多真实情境的因素,摆脱长久以来的卡牌、骰子等实验任务。第二,从范式的使用方法提高生态效度,由传统的“人-机互动”转化为“人-人互动”,由一名被试对着计算机按键到两名被试做真实的博弈。此外,在消费者决策、投资决策等研究中可以充分发挥便携式 fNIRS 设备的优势,将个体放置在真实的模拟情境中进行决策并记录其大脑血氧动力学响应,以此直接提高研究的生态效度。

### 4.2. 加强对不同群体决策时脑成像特点的关注

fNIRS 由于其无创性和动作的容忍度较好的优势而被大量应用于新生儿和儿童的研究中,而在决策研究中,还鲜有研究者对儿童和老人的决策脑活动进行探究,未来可以在这一方面开展大量研究,例如儿童决策的特点及脑机制,老年人受骗下决策错误的神经机制等。另外,特殊群体决策的特点还尚不明朗,未来可以进行自闭症、多动症、甚至精神障碍患者等特殊群体的决策行为背后的心理机制和脑机制研究。依据群体的特点,实验中既不能要求被试的大脑与复杂的设备连接,也要尽量减少他们被仪器噪音影响身心状态,因此 fNIRS 无疑是最适合的技术手段之一。



### 4.3. 建立决策行为与特定脑区/脑网络的模型关系

心理学的功能是描述、解释、预测与控制,将 fNIRS 技术引入决策研究也是需要逐步实现这些目标,如果说以往的行为实验是描述与解释人的决策行为,那么 fNIRS 需要实现的就是预测人的决策。首先应该通过研究明确不同脑区的大脑血氧响应模式背后的心理机制,然后建立血氧响应模式-心理-行为的联系,从而实现预测的作用。这一方向的关键除了技术的发展,还有细化决策本身,建立特定脑区响应模式与决策信息、决策策略、决策阶段的关联。同时,不能忽略对脑区的关注,目前的研究发现决策相关的脑区激活情况比较混乱,不同区域的分工和联系尚不明晰(方平,陈满琪, & 姜媛, 2009),因此在建立以上联系时应进一步关注脑区之间的关联性。

### 4.4. 运用多模态手段全面探究人类决策背后的神经机制

正如前文所提到的 fNIRS 自身有许多适用于决策研究的优势,但时间和空间分辨率不高等局限也是不可避免的。因此,在未来的研究中势必要和 fMRI、ERP、TMS、眼动等技术进行结合,ERP 可以在时间进程方面弥补 fNIRS 的不足,fMRI 能显示大脑深层结构的激活以进一步明确与决策相关的脑区,TMS 可以通过刺激目标区域来模拟“虚拟性损伤”,以观察神经系统的功能变化(王云强&郭本禹, 2017)。这样一方面可以全面、丰富、精准地了解人们在做决策时的大脑活动情况。另外一方面,能更好的推动对“人们是如何做决策的”的解释,即在试图建立行为与大脑活动的模型时,利用多种技术手段记录的数据推动和完善模型的建立。但需要注意的是,多模态研究对实验仪器的操作、技术理论的建立和多种类型数据的处理与整合的要求较高,例如 fNIRS 与 ERP 的联用在数据预处理方面还存在问题,现有的有效解决方法之一就是多模态记录的同时记录心率、血压、眨眼等信息以减少噪声(Xue, Chen, Lu, & Dong, 2010),其余的技术在联用时也存在类似的问题,但已有方法是否具有全面适用性尚不可知。

## 参考文献

- 蔡厚德, 张权, 蔡琦, 陈庆荣(2012). 爱荷华博弈任务(IGT)与决策的认知神经机制. *心理科学进展*, 20(9), 1401-1410.
- 方平, 陈满琪, 姜媛(2009). 决策的脑认知神经机制. *心理科学*, 32(3), 640-642.
- 郭欢, 杜莎, 朱绘霖, 申荷永(2017). 近红外光谱成像的多人同步交互记录. *心理技术与应用*, 5(4), 237-244.
- 惠添潼(2017). *群体内群体外人际合作与冲突的近红外光学成像研究*. 硕士论文, 天津: 天津师范大学.
- 贾尧(2016). *基于面孔与收益对信任博弈决策的影响fNIRS的信任脑机制研究*. 硕士论文, 金华: 浙江师范大学.
- 李纾, 梁竹苑, 孙彦(2012). 人类决策: 基础科学研究中富有前景的学科. *中国科学院院刊*, 27(s1), 52-65.
- 利振华, 窦凯, 聂衍刚(2018). 远离“诱惑”: 预先承诺对跨期决策的调控机制及其神经基础. *心理科学进展*, 26(10), 163-171.
- 刘宝根, 周兢, 李菲菲(2011). 脑功能成像的新方法——功能性近红外光谱技术(fNIRS). *心理科学*, 34(4), 943-949.
- 刘长江, 李纾(2007). 神经经济学: 迈向脑科学的决策科学. *心理科学*, 30(2), 482-484.
- 马庆国, 沈强, 李典典, 王凯(2009). 社会神经经济学: 社会决策和博弈的神经学基础. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 39(2), 53-63.
- 王云强, 郭本禹(2017). 大脑是如何建立道德观念的: 道德的认知神经机制研究进展与展望. *科学通报*, 62(25), 2867-2875.
- 徐四华, 方卓, 饶恒毅(2013). 真实和虚拟金钱奖赏影响风险决策行为. *心理学报*, 45(8), 874-886.
- 叶佩霞, 朱睿达, 唐红红, 买晓琴, 刘超(2017). 近红外光学成像在社会认知神经科学中的应用. *心理科学进展*, 25(5), 731-741.
- 庄锦英(2006). *决策心理学*. 上海: 上海教育出版社.
- Baker, M. D., & Maner, J. K. (2009). Male Risk-Taking as a Context-Sensitive Signaling Device. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45, 1136-1139. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2009.06.006>

- Bembich, S., Clarici, A., Vecchiet, C., Baldassi, G., Cont, G., & Demarini, S. (2014). Differences in Time Course Activation of Dorsolateral Prefrontal Cortex Associated with Low or High Risk Choices in a Gambling Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 464. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00464>
- Bornoalova, M. A., Cashman-Rolls, A., O'Donnel, J. M., Ettinger, K., Richards, J. B., de Wit, H., & Lejuez, C. W. (2009). Risk Taking Differences on a Behavioral Task as a Function of Potential Reward/Loss Magnitude and Individual Differences in Impulsivity and Sensation Seeking. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 93, 258-262. <https://doi.org/10.1016/j.pbb.2008.10.023>
- Cazzell, M., Li, L., Lin, Z. J., Patel, S. J., & Liu, H. (2012). Comparison of Neural Correlates of Risk Decision Making between Genders: An Exploratory fNIRS Study of the Balloon Analogue Risk Task (BART). *Neuroimage*, 62, 1896-1911. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.030>
- Dean, A. C., Sugar, C. A., Hellemann, G., & London, E. D. (2011). Is All Risk Bad? Young Adult Cigarette Smokers Fail to Take Adaptive Risk in a Laboratory Decision-Making Test. *Psychopharmacology*, 215, 801-811. <https://doi.org/10.1007/s00213-011-2182-y>
- Hammers, D. B., & Suhr, J. A. (2010). Neuropsychological, Impulsive Personality, and Cerebral Oxygenation Correlates of Undergraduate Polysubstance Use. *Journal of Clinical Experimental Neuropsychology*, 32, 599-609. <https://doi.org/10.1080/13803390903379599>
- Heinzel, S., Haeussinger, F. B., Hahn, T., Ehli, A. C., Plichta, M. M., & Fallgatter, A. J. (2013). Variability of (Functional) Hemodynamics as Measured with Simultaneous fNIRS and fMRI during Intertemporal Choice. *Neuroimage*, 71, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.074>
- Holper, L., & Murphy, R. O. (2014). Hemodynamic and Affective Correlates Assessed during Performance on the Columbia Card Task (CCT). *Brain Imaging and Behavior*, 8, 517-530. <https://doi.org/10.1007/s11682-013-9265-9>
- Holper, L., Scholkmann, F., & Wolf, M. (2014). The Relationship between Sympathetic Nervous Activity and Cerebral Hemodynamics and Oxygenation: A Study Using Skin Conductance Measurement and Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Behavioural Brain Research*, 270, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.04.056>
- Holper, L., ten Brincke, R. H., Wolf, M., & Murphy, R. O. (2014). fNIRS Derived Hemodynamic Signals and Electrodermal Responses in a Sequential Risk-Taking Task. *Brain Research*, 1557, 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.02.013>
- Holper, L., Wolf, M., & Tobler, P. N. (2014). Comparison of Functional Near-Infrared Spectroscopy and Electrodermal Activity in Assessing Objective versus Subjective Risk during Risky Financial Decisions. *Neuroimage*, 84, 833-842. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.09.047>
- Jöbsis-vander Vliet, F. F. (1999). Discovery of the Near-Infrared Window into the Body and the Early Development of Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 4, 392-396. <https://doi.org/10.1117/1.429952>
- Kahneman, D. (2003). Maps of Bounded Rationality: Psychology for Behavioral Economics. *American Economic Review*, 93, 1449-1475. <https://doi.org/10.1257/000282803322655392>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1972). Subjective Probability: A Judgment of Representativeness. *Cognitive Science*, 3, 25-48. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-2288-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-010-2288-0_3)
- Kathleen Holmes, M., Bearden, C. E., Barguil, M., Fonseca, M., Monkul, E. S., Nery, F. G. et al. (2009). Conceptualizing Impulsivity and Risk Taking in Bipolar Disorder: Importance of History of Alcohol Abuse. *Bipolar Disorders*, 11, 33-40. <https://doi.org/10.1111/j.1399-5618.2008.00657.x>
- Kim, J.-Y., Kim, K.-I., Han, C.-H., Lim, J.-H., & Im, C.-H. (2017). Estimating Consumers' Subjective Preference Using Functional near Infrared Spectroscopy: A Feasibility Study. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 24, 433-441. <https://doi.org/10.1255/jnirs.1242>
- Kopton, I. M., & Kenning, P. (2014). Near-Infrared Spectroscopy (nirs) as a New Tool for Neuroeconomic Research. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 549. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00549>
- Lee, R. F., Dai, W., & Jones, J. (2012). Decoupled Circular-Polarized Dual-Head Volume Coil Pair for Studying Two Interacting Human Brains with Dyadic fMRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 68, 1087. <https://doi.org/10.1002/mrm.23313>
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L. et al. (2002). Evaluation of a Behavioral Measure of Risk Taking: The Balloon Analogue Risk Task (Bart). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8, 75-84. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.8.2.75>
- Li, L., Cazzell, M., Zeng, L., & Liu, H. (2017). Are There Gender Differences in Young vs. Aging Brains under Risk Decision-Making? An Optical Brain Imaging Study. *Brain Imaging and Behavior*, 11, 1085-1098. <https://doi.org/10.1007/s11682-016-9580-z>
- Lin, L. Z., Li, L., Cazzell, M., & Liu, H. (2013). Monitoring of Human Brain Functions in Risk Decision-Making Task by Diffuse Optical Tomography Using Voxel-Wise General Linear Model. In *Conference on Photonic Therapeutics and Diagnostics IX* (Vol. 8565, p. 856555). San Francisco: The International Society for Optics and Photonics (SPIE).

- <https://doi.org/10.1117/12.2005538>
- Lin, X., Xu, S., Jeong, H. F., & Yuan, Z. (2017). Optical Mapping of Prefrontal Activity in Pathological Gamblers. *Applied Optics*, *56*, 5948-5953. <https://doi.org/10.1364/AO.56.005948>
- Lin, Z. J., Li, L., Cazzell, M., & Liu, H. (2014). Atlas-Guided Volumetric Diffuse Optical Tomography Enhanced by Generalized Linear Model Analysis to Image Risk Decision-Making Responses in Young Adults. *Human Brain Mapping*, *35*, 4249-4266. <https://doi.org/10.1002/hbm.22459>
- Luu, S., & Chau, T. (2009). Decoding Subjective Preference from Single-Trial Near-Infrared Spectroscopy Signals. *Journal of Neural Engineering*, *6*, Article ID: 016003. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/6/1/016003>
- Ono, Y., Kikuchi, M., Hirose, T., Hino, S., Nagasawa, T., Hashimoto, T., & Minabe, Y. (2015). Reduced Prefrontal Activation during Performance of the Iowa Gambling Task in Patients with Bipolar Disorder. *Psychiatry Research*, *233*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.04.003>
- Piva, M., Zhang, X., Noah, J. A., Chang, S. W. C., & Hirsch, J. (2017). Distributed Neural Activity Patterns during Human-to-Human Competition. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 571. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00571>
- Rao, H., Korkczykowski, M., Pluta, J., Hoang, A., & Detre, J. A. (2008). Neural Correlates of Voluntary and Involuntary Risk Taking in the Human Brain: An fMRI Study of the Balloon Analog Risk Task (BART). *Neuroimage*, *42*, 902-910. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.05.046>
- Rilling, J. K., & Sanfey, A. G. (2011). The Neuroscience of Social Decision-Making. *Annual Review Psychology*, *62*, 23-48. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.121208.131647>
- Scholkmann, F., Kleiser, S., Metz, A. J., Zimmermann, R., Pavia, J. M., Wolf, U. et al. (2013). A Review on Continuous Wave Functional Near-Infrared Spectroscopy and Imaging Instrumentation and Methodology. *Neuroimage*, *85*, 6-27. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>
- Shimokawa, T., Kinoshita, K., Miyagawa, K., & Misawa, T. (2012). A Brain Information-Aided Intelligent Investment System. *Decision Support Systems*, *54*, 336-344. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.041>
- Shimokawa, T., Suzuki, K., Misawa, T., & Miyagawa, K. (2009). Predictability of Investment Behavior from Brain Information Measured by Functional Near-Infrared Spectroscopy: A Bayesian Neural Network Model. *Neuroscience*, *161*, 347-358. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.02.079>
- Suhr, J., & Hammers, D. (2010). Who Fails the Iowa Gambling Test (IGT)? Personality, Neuropsychological, and Near-Infrared Spectroscopy Findings in Healthy Young Controls. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *25*, 293-302. <https://doi.org/10.1093/arclin/acq017>
- Tang, H., Mai, X., Wang, S., Zhu, C., Krueger, F., & Liu, C. (2016). Interpersonal Brain Synchronization in the Right Temporo-Parietal Junction during Face-to-Face Economic Exchange. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*, 23-32. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv092>
- Xue, G., Chen, C., Lu, Z. L., & Dong, Q. (2010). Brain Imaging Techniques and Their Applications in Decision-Making Research. *Acta Psychologica Sinica*, *42*, 120-137. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2010.00120>
- Yang, Z. Y., & Chen, H. C. (2013). Applying Near-Infrared Spectroscopy in Cognitive Neuroscience. *Journal of Neuroscience & Neuroengineering*, *2*, 231-242. <https://doi.org/10.1166/jnsne.2013.1053>
- Zhang, M., Liu, T., Pelowski, M., Jia, H., & Yu, D. (2017). Social Risky Decision-Making Reveals Gender Differences in the TPJ: A Hyperscanning Study Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Brain and Cognition*, *119*, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.08.008>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；  
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7273，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ap@hanspub.org](mailto:ap@hanspub.org)