

脑电图技术(EEG)在风险决策认知神经机制研究中的应用

郑景瑶

华北理工大学心理与精神卫生学院, 河北 唐山

收稿日期: 2026年6月22日; 录用日期: 2026年7月23日; 发布日期: 2026年8月4日

摘要

风险决策是人类在不确定情境下进行判断与选择的重要认知活动, 其神经机制受到广泛关注。随着认知神经科学的发展, 脑电图(EEG)凭借高时间分辨率、非侵入性和便捷性等优势, 逐渐成为研究风险决策的重要技术手段。本文首先介绍风险决策的概念、相关理论及研究范式; 其次阐述EEG信号的产生机制、频域特征及技术优势; 最后综述EEG在风险决策领域中的相关研究, 为深入理解风险决策的认知神经机制提供参考。

关键词

风险决策, 脑电图, 事件相关电位, 神经振荡

Applications of Electroencephalography (EEG) in Research on the Cognitive Neural Mechanisms of Risky Decision-Making

Jingyao Zheng

School of Psychology and Mental Health, North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: June 22, 2026; accepted: July 23, 2026; published: August 4, 2026

Abstract

Risky decision-making is an important cognitive activity in which individuals make judgments and choices under conditions of uncertainty, and its underlying neural mechanisms have attracted considerable attention. With the development of cognitive neuroscience, electroencephalography (EEG), characterized by its high temporal resolution, noninvasiveness, and convenience, has become an

important tool for investigating risky decision-making. This paper first introduces the concept, theoretical foundations, and common research paradigms of risky decision-making. It then describes the generation mechanisms, frequency-domain characteristics, and technical advantages of EEG signals. Finally, it reviews EEG-related studies in the field of risky decision-making, with the aim of providing a reference for a deeper understanding of the cognitive and neural mechanisms underlying risky decision-making.

Keywords

Risky Decision-Making, Electroencephalography (EEG), Event-Related Potentials (ERP), Neural Oscillations

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

随着认知神经科学的发展, 风险决策逐渐成为科学研究的重要领域之一。理解个体如何在不确定条件下评估风险、权衡得失并作出选择, 对于揭示人类决策机制、预防非适应性决策行为具有重要的理论与现实意义。近年来, 神经科学技术的发展为探究风险决策背后的认知与神经机制提供了新的视角。脑电图技术(EEG)作为一种非侵入性神经影像手段, 凭借其毫秒级的高时间分辨率, 能够精细捕捉决策过程中快速变化的神经动态, 在风险决策研究领域展现出独特的优势。

2. 风险决策

2.1. 风险决策的概念

风险决策是个体或群体在未来结果无法完全确知, 且不同选择可能导致损失或不利后果的情境下, 进行方案评估与选择的动态认知行为过程(Tversky & Kahneman, 1992)。在传统行为经济学与心理学中, 风险决策的核心特征在于结果的变异性, 即选项的潜在收益或损失及其发生的概率通常是明确已知或可推知的(Edwards, 1954), 决策者需要在预期价值与风险程度之间进行主客观权衡。

随着研究的深入, 学术界对风险决策概念的理解经历了从经典经济学理性人假设向认知神经科学多维表征的演变。早期理论将风险决策视作理性的数学计算, 以期望效用最大化为核心, 将风险等同于客观概率分布的方差。而现代认知心理学则基于有限理性视角, 强调个体在真实情境中受框架效应、情绪状态及认知资源限制所表现出的主观风险认知与风险偏好异质性(Simon, 1955)。进一步地, 认知神经科学将风险决策界定为大脑对选项主观价值表征与认知控制功能相互博弈的实时神经过程, 涉及眶额皮层、纹状体以及前额叶等多个脑区的协同激活与交互动态(Rangel et al., 2008)。这种多阶段、多维度的认知特征, 构成了风险决策概念的完整内涵。

2.2. 理论支持

风险决策理论的发展脉络呈现出从绝对理性向有限理性, 再向神经计算与双系统博弈演进的鲜明特征。早期引领风险决策研究的是以规范性为特征的传统经济学理论, 其核心在于探讨决策者“应当如何理性决策”。其中, 以公理化方式构建的期望效用理论(Marschak, 1950)成为了古典经济学的基石。该理论假设决策者是完全理性的经济人, 能够精确计算每种选择的客观概率与其主观效用的乘积, 并通过追

求期望效用最大化来做出最优选择。然而,在现实决策中,人类行为频繁出现违反该理论的现象(如阿莱悖论)(Allais, 1953),这促使研究者转向关注决策者“实际上是如何决策”的描述性理论。

在众多描述性理论中,卡尼曼和特沃斯基提出的前景理论最具里程碑意义,它奠定了现代风险决策的心理学基础。前景理论指出,个体在面对风险时并非基于绝对财富进行评估,而是基于某一“参考点”来定义获益或损失,且人类在面对获益时通常表现为风险规避,而在面对损失时则转变为风险寻求。更重要的是,该理论提出了损失厌恶和敏感度递减机制,并指出个体在心理上会对客观概率进行非线性曲解(即高估小概率、低估大概率),这一发现深刻地揭示了风险决策背后的认知偏差规律。

随着认知神经科学的兴起,研究者开始探寻这些心理现象底层的生物学与大脑加工机制,从而诞生了双系统理论以及神经经济学中的价值计算理论。双系统理论认为,风险决策由两个相互拮抗又协同的系统共同驱动(Evans, 2003)。系统1(直觉系统)是快速、自动且受情绪驱动的,倾向于对潜在的即时奖赏或损失做出本能的情绪反应;系统2(理性系统)则是慢速、费力且受认知控制驱动的,负责对概率和期望价值进行深思熟虑的理性整合(Sanfey et al., 2006)。与之相对应的价值计算理论则进一步将风险决策解构为大脑对主观价值表征与行动选择的动态编码过程,强调多巴胺奖赏系统(如纹状体、眶额皮层)与认知控制网络(如前扣带回、外侧前额叶)之间的电生理信号博弈(Padoa-Schioppa, 2011)。这些神经科学理论的提出,直接将风险决策的理论研究从宏观的行为观察推向了微观的脑机制解析。

2.3. 风险决策范式

2.3.1. 爱荷华赌博任务

爱荷华赌博任务(Toplak et al., 2010)是采用赌博游戏进行风险决策的一类实验的代表。实验中,计算机屏幕上会呈现四组纸牌(分别标记为A、B、C、D),要求被试在任意纸牌中进行自由抽取。四组纸牌的奖励与惩罚规则各不相同:A组和B组为“不利纸牌”,每次抽取能获得高额的即时奖赏(100元),但会不定期伴随同等高额的惩罚,长期抽取必然导致净亏损;C组和D组为“有利纸牌”,每次抽取获得的即时奖赏较少(50元),但伴随的惩罚也非常低,长期抽取必然带来净收益。实验前不告知被试任何规则和抽取次数,被试只能通过点击鼠标不断抽牌,根据每次抽牌后的即时反馈(赢钱或输钱)来摸索规则。

2.3.2. 仿真气球冒险任务

仿真气球冒险任务则模拟了风险累积的动态过程(Lejuez et al., 2002)。在计算机屏幕上,被试会看到一个虚拟气球、一个打气按钮以及一个兑现(收集资金)按钮。被试通过点击打气按钮为气球充气,每充气一次,气球就会膨胀一圈,同时被试的临时账户中就会累积一定数额的虚拟资产。然而,每个气球都设定了一个随机的爆炸临界点(例如1次到128次充气之间的任意值)。如果被试在气球爆炸前点击“兑现”按钮,则当前气球累积的资产会安全转入永久账户;如果被试继续充气且触发了爆炸,气球就会破裂并伴随爆炸声,该试次累积的资产将全盘清零。

2.3.3. 连续风险决策的开箱任务

在连续开箱风险决策任务(Büchel et al., 2011)中有8个箱子在屏幕上排成一行,在这组箱子中,有7个箱子各自包含等额的虚拟金币作为奖赏,而剩余的1个箱子中则隐藏着惩罚标志“小鬼”,“小鬼”的位置是随机的。实验开始后,被试必须严格遵循自左向右的顺序依次点击开箱。如果被试打开的箱子装有金币,其当前试次的累积收益便会相应递增;然而,一旦被试在连续开箱的过程中打开了装有“小鬼”的箱子,该试次此前所累积的收益将清零,且该试次的最终收益记为零。实验中被试可以随时选择停止开箱以收集本试次的累积收益。

3. EEG 技术

3.1. EEG 信号的产生机制

EEG 所记录的电位变化,并非单个神经元动作电位的直接反应,而是大量皮层神经元群体突触后电位经空间叠加后形成的宏观电场信号(Buzsáki et al., 2012)。从神经生理学角度看,EEG 所记录的电神经活动主要包括动作电位和突触后电位两类,而头皮记录到的 EEG 信号是脑组织深处的电活动穿过颅骨和头皮、在远距离传导后形成的。由于二者在时间叠加特性上的差异:动作电位持续时间极短(约 1 毫秒)且不同神经元发生时高度异步,因而难以形成可被头皮电极探测到的叠加电场;相比之下,突触后电位持续时间较长(可达数十至上百毫秒),当皮层中大量排列方向一致的锥体神经元同步产生突触后电位时,其电场才能够在空间上有效叠加,形成足以传导至头皮表面的电位变化。这正是新皮质中锥体神经元因其胞体-树突轴与皮层表面垂直排列的特殊几何构型,被公认为 EEG 电位最主要神经发生源的原因(Olejniczak, 2006)。

3.2. EEG 信号的频域特征

EEG 的有效频率范围通常在 0~100 Hz 之间,其中包含了大脑处理信息的多个关键频率段,这些频率段与大脑的不同生理和认知功能紧密相关。依据频率范围,EEG 信号通常被划分为五个经典频段:Delta 波(1~3 Hz)、Theta 波(4~7 Hz)、Alpha 波(8~13 Hz)、Beta 波(13~30 Hz)和 Gamma 波(30~80 Hz)(Newson & Thiagarajan, 2019),不同频段并非简单对应单一心理状态,而是可在特定任务情境中反映不同认知加工过程。就风险决策而言,Theta 活动常与不确定性加工、冲突监测和反馈后的行为调整有关;Alpha 活动可反映风险线索加工中的注意资源分配;Beta 活动可能与奖赏反馈、反应准备和策略维持有关;Gamma 活动则可能参与风险信息 and 奖惩结果的快速整合。近年研究也表明,Theta 和 Alpha 振荡能够区分风险水平和奖赏预期变化,并与后续风险选择及反馈加工过程相关(Dantas et al., 2023; Tóth-Fáber & Kóbor, 2026)。

3.3. EEG 技术的优势与局限性

3.3.1. EEG 技术的优势

EEG 最突出的技术优势在于其毫秒级的时间分辨率。EEG 的时间分辨率十分优异,能够以毫秒量级捕捉神经事件,这使其可以实时追踪认知加工过程中电位变化的快速动态轨迹,精细刻画决策过程中不同加工阶段(如感知编码、价值评估、反应执行、结果反馈)所对应的神经活动时间进程,这是依赖血氧水平变化的技术(如 fMRI)难以企及的(Abreu et al., 2018; Xue et al., 2010)。

其次,EEG 具有非侵入、相对低成本和适用性较广的特点。相较于 fMRI、PET、MEG 等大型神经影像设备,EEG 采集设备体积更小、EEG 采集设备体积较小、实验成本较低,数据采集流程也较为灵活。这使得 EEG 更便于开展大样本、多组别和重复测量研究。对于风险决策研究而言,这一优势具有重要意义,因为风险偏好、奖惩敏感性、冲动控制和反馈学习能力等变量往往存在显著个体差异,需要通过较大样本或不同群体比较来提高研究结论的稳定性和外部效度。

再次,EEG 能够提供时域和频域两个互补的分析框架。在时域层面,ERP 分析通过对与特定事件时间锁定的脑电信号进行叠加平均,提取与认知加工阶段相关的瞬态电位成分,如 FRN、P300 等,适合考察个体对风险线索、错误反馈、奖惩结果和预期违背等信息的快速神经反应(Helfrich & Knight, 2019);在频域或时频层面,研究者可以进一步分析不同频段神经振荡的功率变化、相位锁定以及跨脑区同步活动,从而揭示风险决策过程中注意分配、认知控制、情绪调节和反馈学习等较为持续的动态加工特征(Cao et al., 2021; Roach & Mathalon, 2008)。因此,ERP 与时频分析的结合能够从“瞬时电位反应”和“持续振荡活动”两个角度理解风险决策的神经机制。

3.3.2. EEG 技术的局限性

尽管 EEG 在时间分辨率、实验可及性和分析维度方面具有明显优势,但其固有方法学局限也会对风险决策研究的解释范围产生一定制约,主要体现在以下几个方面。

第一, EEG 的空间分辨率相对较低,难以精确定位神经活动来源。头皮电极记录到的脑电信号会受到颅骨、脑脊液、头皮等组织传导效应的影响,同一头皮电位分布可能由多种不同的脑内源活动产生。因此, EEG 能够较好地回答风险决策加工“何时发生”的问题,但在回答“具体发生于哪个脑区”时存在明显限制(Burle et al., 2015)。

第二, EEG 对皮层下结构的敏感性有限。风险决策不仅涉及前额叶、扣带回、顶叶等皮层区域,也与腹侧纹状体、杏仁核、海马、丘脑等皮层下结构密切相关,这些结构在奖赏加工、惩罚敏感性、情绪唤醒和动机驱动中具有重要作用。然而,头皮 EEG 主要反映大脑皮层神经元群体同步活动产生的电信号,对深部脑区或皮层下结构活动的直接探测能力较弱(Schrooten et al., 2019)。

第三, EEG 信号信噪比较低,容易受到多种伪迹干扰。EEG 记录的是微弱的头皮信号,容易受到眨眼、眼动、面部肌电、头部运动、心电活动以及环境电噪声等因素影响。风险决策任务通常包含刺激呈现、按键选择、等待反馈和结果评价等多个连续环节,被试在任务过程中的眼动、表情变化或身体轻微移动都可能影响脑电数据质量。虽然独立成分分析、滤波、伪迹剔除和基线校正等预处理方法可以在一定程度上降低噪声影响,但这些步骤也可能引入方法选择上的主观性,并影响不同研究结果之间的可重复性和可比性。

综上, EEG 技术凭借毫秒级时间分辨率、非侵入性、相对低成本以及 ERP 和时频分析相结合的多维分析框架,已成为风险决策认知神经机制研究中的重要测量手段。然而, EEG 也存在空间分辨率较低、对皮层下结构不敏感、信噪比较低以及指标解释非特异性等局限。

4. EEG 在风险决策研究中的应用

近年来,随着实验心理学与认知神经科学的深度融合,研究者对风险决策的认知神经机制获得了更深入的认识。功能性磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)研究发现,风险决策并非依赖单一脑区,而是涉及前额叶皮层、前扣带回、纹状体、杏仁核等多个脑区及其功能连接。其中,前额叶皮层在价值比较、策略调整和认知控制中发挥重要作用,杏仁核及其与前额叶区域的连接则与情绪信息、奖惩敏感性和风险偏好调节密切相关(Ren et al., 2024; Timashkov et al., 2025)。然而,尽管 fMRI 具有较高的空间分辨率,能够较为精确地定位脑区活动,其时间分辨率相对有限,难以揭示决策加工过程中快速变化的神经动态特征。

相比之下,事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)技术凭借毫秒级时间分辨率,能够实时追踪个体在决策过程中的神经活动变化,因此被广泛应用于风险决策研究。反馈相关负波(Feedback-Related Negativity, FRN)通常出现在反馈刺激呈现后 230~330 ms,与反馈信息的早期评价过程密切相关,被认为反映了个体对结果效价的快速判断。P300 成分一般出现于刺激呈现后约 300~500 ms,主要体现注意资源分配及情绪信息加工的程度。晚期正成分(Late Positive Potential, LPP)则反映较晚阶段的动机意义评估和持续性注意加工,在不确定决策和情绪性决策研究中具有重要意义(Fields, 2023; Peng et al., 2025)。

除传统 ERP 分析外,时频域分析为揭示风险决策的神经机制提供了新的研究视角。与 ERP 主要关注时间锁定的电位变化不同,时频分析能够进一步捕捉非相位锁定的事件相关频谱扰动,从而考察不同频段神经振荡在反馈加工和后续风险选择中的动态作用。近年来研究发现,Delta 和 Theta 频段在反馈效价加工中具有不同功能:在赌博反馈任务中,收益反馈通常诱发更强的 Delta 活动,而损失反馈则更容易诱发 Theta 活动增强(Bachman et al., 2022)。Theta 振荡也与反馈后的情绪影响及后续赌博选择相关,可用于

反映个体在反馈后进行行为调整的神经过程。在连续风险决策任务中, Alpha 和 Theta 振荡还能够追踪试次内不断升高的风险水平和奖赏预期变化, 提示其可能参与风险信息加工和奖赏预期评估(Tóth-Fáber & Kóbor, 2026)。因此, 将 ERP 分析与时频域分析相结合, 有助于从时间进程和神经振荡两个层面, 更全面地揭示复杂风险决策情境下的神经加工机制。

5. 结论

风险决策是个体在不确定情境下进行价值评估和行为选择的重要认知过程。随着认知神经科学的发展, 研究者对风险决策的神经机制有了更深入的认识。EEG 凭借毫秒级时间分辨率和多维度分析优势, 能够有效揭示风险决策过程中动态变化的神经活动。通过 ERP 和时频分析等方法, 研究者能够从不同层面探讨风险评估、反馈加工和奖赏学习等过程, 为理解风险决策的认知与神经机制提供重要依据。未来研究可进一步结合 EEG 与 fNIRS、眼动等多模态技术, 以弥补单一 EEG 技术在空间定位和生理机制解释方面的不足; 同时, 也可加强真实或近真实风险情境下的实验设计, 关注个体差异、情绪状态和社会情境因素对风险决策神经加工过程的影响, 从而提高研究结果的生态效度和解释力。

参考文献

- Abreu, R., Leal, A., & Figueiredo, P. (2018). EEG-Informed fMRI: A Review of Data Analysis Methods. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 29. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00029>
- Allais, M. (1953). Le Comportement de l'Homme Rationnel devant le Risque: Critique des Postulats et Axiomes de l'Ecole Americaine. *Econometrica*, 21, 503-546. <https://doi.org/10.2307/1907921>
- Bachman, M. D., Watts, A. T. M., Collins, P., & Bernat, E. M. (2022). Sequential Gains and Losses during Gambling Feedback: Differential Effects in Time-Frequency Delta and Theta Measures. *Psychophysiology*, 59, e13907. <https://doi.org/10.1111/psyp.13907>
- Büchel, C., Brassen, S., Yacubian, J., Kalisch, R., & Sommer, T. (2011). Ventral Striatal Signal Changes Represent Missed Opportunities and Predict Future Choice. *NeuroImage*, 57, 1124-1130. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.05.031>
- Burle, B., Spieser, L., Roger, C., Casini, L., Hasbroucq, T., & Vidal, F. (2015). Spatial and Temporal Resolutions of EEG: Is It Really Black and White? A Scalp Current Density View. *International Journal of Psychophysiology*, 97, 210-220. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.05.004>
- Buzsáki, G., Anastassiou, C. A., & Koch, C. (2012). The Origin of Extracellular Fields and Currents—EEG, ECOG, LFP and Spikes. *Nature Reviews Neuroscience*, 13, 407-420. <https://doi.org/10.1038/nrn3241>
- Cao, J., Zhao, Y., Shan, X., Wei, H., Guo, Y., Chen, L. et al. (2021). Brain Functional and Effective Connectivity Based on Electroencephalography Recordings: A Review. *Human Brain Mapping*, 43, 860-879. <https://doi.org/10.1002/hbm.25683>
- Dantas, A. M., Sack, A. T., Bruggen, E., Jiao, P., & Schuhmann, T. (2023). Modulating Risk-Taking Behavior with Theta-Band TACs. *NeuroImage*, 283, Article ID: 120422. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120422>
- Edwards, W. (1954). The Theory of Decision Making. *Psychological Bulletin*, 51, 380-417. <https://doi.org/10.1037/h0053870>
- Evans, J. S. B. T. (2003). In Two Minds: Dual-Process Accounts of Reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 454-459. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.08.012>
- Fields, E. C. (2023). The P300, the LPP, Context Updating, and Memory: What Is the Functional Significance of the Emotion-Related Late Positive Potential? *International Journal of Psychophysiology*, 192, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.005>
- Helfrich, R. F., & Knight, R. T. (2019). Cognitive Neurophysiology: Event-Related Potentials. *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 543-558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00036-9>
- 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>
- Marschak, J. (1950). Rational Behavior, Uncertain Prospects, and Measurable Utility. *Econometrica*, 18, 111-141. <https://doi.org/10.2307/1907264>
- Newson, J. J., & Thiagarajan, T. C. (2019). EEG Frequency Bands in Psychiatric Disorders: A Review of Resting State Studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 521. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00521>

- Olejniczak, P. (2006). Neurophysiologic Basis of EEG. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 23, 186-189. <https://doi.org/10.1097/01.wnp.0000220079.61973.6c>
- Padoa-Schioppa, C. (2011). Neurobiology of Economic Choice: A Good-Based Model. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 333-359. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113648>
- Peng, M., Shi, Y., Tang, R., Yang, X., Yang, H., Cai, M. et al. (2025). Good Luck or Bad Luck? The Influence of Social Comparison on Risk-taking Decision and the Underlying Neural Mechanism. *Psychophysiology*, 62, e14730. <https://doi.org/10.1111/Psyp.14730>
- Rangel, A., Camerer, C., & Montague, P. R. (2008). A Framework for Studying the Neurobiology of Value-Based Decision Making. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 545-556. <https://doi.org/10.1038/nrn2357>
- Ren, P., Ma, M., Zhuang, Y., Huang, J., Tan, M., Wu, D. et al. (2024). Dorsal and Ventral Fronto-Amygdala Networks Underlie Risky Decision-Making in Age-Related Cognitive Decline. *GeroScience*, 46, 447-462. <https://doi.org/10.1007/s11357-023-00922-2>
- Roach, B. J., & Mathalon, D. H. (2008). Event-Related EEG Time-Frequency Analysis: An Overview of Measures and an Analysis of Early Gamma Band Phase Locking in Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 34, 907-926. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbn093>
- Sanfey, A. G., Loewenstein, G., McClure, S. M., & Cohen, J. D. (2006). Neuroeconomics: Cross-Currents in Research on Decision-Making. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.01.009>
- Schrooten, M., Vandenberghe, R., Peeters, R., & Dupont, P. (2019). Quantitative Analyses Help in Choosing between Simultaneous vs. Separate EEG and fMRI. *Frontiers in Neuroscience*, 12, Article 1009. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.01009>
- Simon, H. A. (1955). A Behavioral Model of Rational Choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69, 99-118. <https://doi.org/10.2307/1884852>
- Timashkov, A., Anderson, S., & Zinchenko, O. (2025). Neural Correlates of Uncertainty Processing: Meta-Analysis of fMRI Studies. *Frontiers in Neuroscience*, 19, Article 1662272. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1662272>
- Toplak, M. E., Sorge, G. B., Benoit, A., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2010). Decision-Making and Cognitive Abilities: A Review of Associations between Iowa Gambling Task Performance, Executive Functions, and Intelligence. *Clinical Psychology Review*, 30, 562-581. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.04.002>
- Tóth-Fáber, E., & Kóbor, A. (2026). α and θ Oscillations Differentiate Escalating Risk Levels during Reward Anticipation in Sequential Decision Making. *Psychophysiology*, 63, e70333. <https://doi.org/10.1111/psyp.70333>
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323. <https://doi.org/10.1007/bf00122574>
- 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>