



网络游戏成瘾的奖赏加工缺陷及其神经机制*

周新雨^{1,2)} 文雅童^{1,3)} 乔斯玥^{1,2)} 李勇辉^{1,3)**}

⁽¹⁾ 中国科学院心理健康重点实验室, 中国科学院心理研究所, 北京 100101;

⁽²⁾ 中国科学院大学中丹学院, 北京 100049; ⁽³⁾ 中国科学院大学心理系, 北京 100049)

摘要 奖赏加工异常是网络游戏成瘾 (internet gaming disorder, IGD) 核心特征之一, 近期研究结合认知神经科学技术对IGD的神经机制进行探讨发现, IGD与药物成瘾存在相似的神经基础, 但仍然存在较多争议。本文从奖赏类型、奖赏加工阶段梳理了IGD人群奖赏加工的研究进展。IGD人群在游戏相关线索下, 奖赏预期 (reward anticipation) 阶段的奖赏系统激活可能与注意偏向、情绪体验和渴求感增加有关。同时, IGD人群对自然奖赏表现出较为一致的低敏感性, 该特征主要出现在结果评估 (outcome evaluation) 阶段。未来研究可以排除共病因素、结合生动的游戏奖赏刺激, 进一步探究奖赏预期和结果评估异常如何推动IGD的发展。

关键词 网络游戏成瘾, 奖赏加工, 诱因显著性, 神经机制
中图分类号 B842, B845

DOI: 10.16476/j.pibb.2021.0368

网络游戏成瘾是一个全球性的社会与健康问题。根据Newzoo发布的报告, 截至2020年底, 全球有27亿游戏玩家^[1]。游戏被认为是一种流行的压力缓解方式, 但有一些玩家因为失控的游戏行为而影响其心理社会功能, 比如精神状况不佳 (抑郁、焦虑、注意力缺陷等)、社会功能受损、学业不良等问题^[2]。网络游戏障碍 (internet gaming disorder, IGD) 平均患病率为4.7%^[3], 不同地区和年龄特征的患病率差异较大 (0.7%~27.5%)^[4], 亚洲青少年群体中更为常见^[5]。近年来, 这一领域的研究呈指数增长, 在取得了较为充分的证据后, 世界卫生组织 (World Health Organization) 在《国际疾病分类》第11次修订本中加入了网络游戏障碍^[6]。由此, 越来越多学者关注到其背后的认知神经机制和影响因素, 尤其是奖赏系统的改变^[3, 7]。

奖赏系统的异常变化是成瘾相关的关键认知神经机制之一。现代游戏十分注重奖赏体验, 比如, 游戏后可以获得金币增加、好友列表中排名上升等, 即使是初学者也可以体验获得奖励的满足感, 持续的正性反馈提高了玩家的游戏意愿^[8]。在反复的游戏体验中, 游戏相关刺激逐渐获得激励价

值, 个体学习到这些刺激可以预测即将获得的游戏奖赏体验^[9], 因此, 游戏相关的刺激可以激活享乐记忆, 驱使下一次的 game 行为^[10]。在这个过程中, 奖赏加工包括两个阶段: 奖赏预期和结果评估。奖赏预期 (reward anticipation) 指的是与渴求产生有关的情绪和动机状态, 结果评估 (outcome evaluation) 指的是奖赏获得时的享乐体验^[11-12]。

目前, 网络游戏成瘾者奖赏加工异常的研究结果存在一定分歧。一方面IGD人群表现出高度的奖赏寻求特点^[13], 另一方面也表现出对奖赏的迟钝反应^[14]。这种矛盾的结果可能与不同实验范式中涉及到的不同奖赏加工阶段有关。另一个可能的原因是奖赏系统的加工异常具有特异性^[15-16], 也就是说, IGD人群的奖赏系统对游戏相关刺激的反应模式区别于自然奖赏。基于此, 本文将主要综述IGD个体奖赏加工缺陷神经机制方面的研究进展, 首先比较了IGD人群对游戏奖赏和自然奖赏的加工特征, 然后从奖赏预期和结果评估两个阶段归纳

* 国家自然科学基金 (32161133004) 资助项目。

** 通讯联系人。

Tel: 010-64850437, E-mail: liyonghui@psych.ac.cn

收稿日期: 2021-11-30, 接受日期: 2022-02-16

IGD 人群的神经活动异常。并与药物成瘾人群的研究结果进行比较, 提出未来可以开展研究的方向。

1 网络游戏成瘾者对游戏奖赏和自然奖赏刺激的加工缺陷

奖赏环路异常对成瘾行为的出现和维持有重要作用。中脑腹侧被盖区的多巴胺能神经元投射到奖赏加工有关的脑区, 主要涉及纹状体、腹内侧前额叶皮层、眶额皮层等区域, 负责奖赏的动机强度和评估过程^[17]。药物成瘾研究领域许多经典理论对奖赏系统的改变进行了探讨。奖赏缺陷综合征 (reward deficiency syndrome) 理论认为, 成瘾者的奖赏脑区低激活减少了主观享乐感受, 通过物质使用则可以弥补奖赏感受的不足^[18]。相反, 冲动性理论 (impulsivity theory) 认为, 成瘾行为是奖赏脑区过度激活的结果, 成瘾者对可能预测潜在奖励的刺激表现出强烈的反应^[19]。影响力最大的诱因显著性理论 (incentive sensitization theory) 则区分了成瘾者对成瘾相关奖赏和自然奖赏的反应, 并认为在强化学习的过程中成瘾相关的特异性刺激劫持了奖赏中枢, 导致增加了对成瘾相关奖赏的敏感性, 但减少了对自然奖赏的反应^[20]。鉴于奖赏类型是目前 IGD 奖赏加工研究中普遍关注的因素, 并且 IGD 人群在成瘾特异性奖赏和其他奖赏的加工表现出不平衡的特点, 本部分将从游戏奖赏和自然奖赏两种类型进行综述。

1.1 网络游戏成瘾者对游戏奖赏加工的特征

长期过度的游戏行为使网络游戏成瘾个体面对游戏奖赏的行为表现和神经反应异于常人。在行为上, IGD 个体表现出对游戏相关刺激的注意偏向、情绪体验和渴求感增加。这些心理行为的变化可能是奖赏环路和认知控制系统紊乱的结果, 不仅促进 IGD 的发展, 也有可能影响后续网络游戏成瘾的戒除^[21-22]。

成瘾者对游戏线索存在明显的注意偏向, 在不同类型的刺激中, 个体往往会优先注意与游戏有关的刺激。玩家在 go/nogo 任务中对游戏词汇辨别能力更好, 并且相较于负性的游戏相关词汇, 他们对正性的游戏相关词汇的反应更快速且准确^[9]。在视觉搜索任务中, 相对于中性刺激, IGD 个体对游戏相关的图片表现出持续的注意^[23]。尤其是在一段时间的戒断后, IGD 个体对游戏相关的刺激表现出更强烈的自动检索偏向^[24]。成瘾者总是自动地捕获环境中的游戏奖赏信息并持续地被其吸引, 这

使得 IGD 个体退出游戏变得困难。更重要的是, IGD 对游戏刺激的高度敏感化具有相对稳定的神经基础, 主要表现在奖赏系统和抑制奖赏寻求脑区的结构和功能异常。

游戏奖赏及游戏相关线索使奖赏系统处于高度活跃的状态。一方面, 游戏活动期间中脑多巴胺系统相关的脑区对游戏奖赏反应增强。通过正电子成像技术 (PET) 检测多巴胺释放变化情况显示, 游戏过程中雷氯必利 (D2 受体拮抗剂) 结合到 D2 受体减少, 表示多巴胺释放增多, 并且奖赏感受越强 (游戏成绩越好), 二者结合越少, 多巴胺释放越多^[25]。另一方面, IGD 人群的奖赏脑区对游戏相关线索的反应增强, 增加了与奖赏动机和情绪唤起有关区域的激活, 包括眶额皮层、伏隔核和前扣带回^[26-27]。游戏胜利给玩家带来“浑然忘我”与“神游其境”的感觉, 正是对这种高峰体验的向往, 使玩家对游戏有着乐此不疲的状态。因此, 游戏成瘾组在观看游戏相关图片或游戏视频时, 与记忆有关的楔前叶、颞叶也表现出活动增强^[16], 并报告渴求感增加^[27]。以上结果表明, 不仅玩游戏时大脑奖赏区域的多巴胺浓度升高, 而且游戏奖赏相关线索也可以唤醒奖赏记忆, 驱使 IGD 个体追求游戏奖赏。

抑制奖赏寻求的脑区功能受损, 是游戏成瘾人群无法控制渴求的重要原因^[28]。背外侧前额皮层负责整合和评估当前信息, 并参与高级认知活动, 包括决策、情绪加工和执行控制^[29], 强行中断游戏后, 网络游戏成瘾者在游戏线索条件下的背外侧前额皮层激活程度降低, 且激活程度与玩家报告的玩游戏的渴求呈负相关^[30]。即使在非戒断状态下看到游戏图片, 游戏成瘾者奖赏与执行控制相关脑区的功能连接性也降低^[31]。玩家在玩自己最喜欢的游戏时左侧额叶 Theta 频段的脑电能量活动降低, 反映了 IGD 人群的抑制控制功能受损^[32]。据报道, 额叶-纹状体和额叶-扣带回环路的结构和功能异常与 IGD 个体对游戏奖赏加工密切相关, 这表明成瘾者面对游戏线索时抑制奖赏寻求的脑区功能失调, 导致其难以控制游戏的渴求^[17]。

1.2 网络游戏成瘾者对自然奖赏加工的特征

成瘾的驱动力不一定是对成瘾相关奖赏的敏化, 也有可能是中脑边缘多巴胺系统对自然奖赏反应降低, 导致成瘾者对成瘾相关奖赏的寻求^[33]。多巴胺神经元突触后膜 D2 受体和位于突触前末端的多巴胺转运体 (dopamine transporter, DAT) 的

活性变化是成瘾者对自然奖赏敏感性降低的重要原因。药物成瘾者多巴胺D2受体数量以及多巴胺释放减少^[34]。越来越多的证据显示,多巴胺能神经系统异常在没有直接暴露于化学物质的行为成瘾中也发挥着重要的作用。PET结果显示,网络成瘾人群双侧尾状核和右侧壳核的多巴胺D2受体可用性降低,且可用性与成瘾程度呈负相关^[35]。游戏期间大脑释放大量多巴胺^[25],长期高浓度的多巴胺也会导致DAT数量减少^[36]。此外,编码多巴胺D2受体和多巴胺降解酶的基因多态性增加的青少年有更高的网络游戏依赖风险^[37]。以上结果说明,多巴胺能神经系统的损害是成瘾的风险因素或病理损伤,进而使IGD个体对自然奖赏的欣快感不足,即奖赏的敏感性降低。目前关于IGD自然奖赏加工的研究,主要集中在金钱奖赏和社会奖赏。

金钱奖赏是日常生活中最常见的奖赏物,研究者多采用金钱奖励任务范式来研究IGD的奖赏加工特征。在简单赌博任务中,被试可以选择不同风险的奖励反馈,他们对金钱奖惩的大小有一定预期,与对照组相比,患有IGD的青少年获得奖励时奖赏反馈信号减弱^[38]。功能磁共振成像(fMRI)结果也显示,相较于娱乐型游戏玩家,IGD个体在获得金钱奖励期间纹状体激活减少^[39]。有研究进一步比较了IGD人群和对照组人群对意外金钱奖励的神经反应,Lei等^[14]先让被试在练习模块学习了金钱奖惩线索和结果之间的对应关系,在正式实验中设计了惩罚线索后出现金钱奖赏的试次。在这种意外奖励的情况下,fMRI结果显示IGD人群的右侧尾状核、左侧眶额叶皮层和背外侧前额皮层激活程度小于对照组。以上结果表明,IGD个体对金钱奖赏表现出奖赏相关脑区的低激活。

游戏成瘾者的社交动机不足,提示IGD人群对社会反馈奖赏的加工可能出现异常^[40]。一项研究比较了网络成瘾组和健康人群对行为表现反馈(如“正确”)和社会奖赏反馈(如“真棒”)的神经反应。结果发现,与对照组相比,网络成瘾组在这两种奖赏下的奖赏相关脑区血氧水平依赖(BOLD)信号普遍降低,他们在面对赞美评价时与自我参照和判断计划有关的颞顶枕联合区、颞上回激活减少^[41]。这意味着,沉浸于虚拟的网络游戏可能使他们难以从点滴日常生活中的反馈中获得乐趣。在一定程度上解释了即使过度游戏损害了人际关系,IGD个体还依然进行大量的游戏。

1.3 不同类型成瘾者对特异性奖赏和自然奖赏加工研究的一致与分歧

药物成瘾和赌博成瘾人群对成瘾特异的奖赏刺激表现出高敏感性^[42-43],对IGD的研究展现了相似的结果,且存在相似的神经机制。不同之处在于,IGD人群奖赏脑区激活的同时,与运动和视空间注意相关的脑区活动也增强^[21]。晚期正电位(late positive potential, LPP)与渴求和情绪唤醒有关,IGD组在看游戏奖赏图片时的LPP振幅高于对照组^[9],其更多地产生于与面孔和社会行为知觉、视空间注意有关的颞上回和颞中回,提示游戏刺激可能诱发了IGD组的游戏场景体验,奖赏体验可能主要来源于想要与他人的社会竞技而非游戏结果本身^[44]。总体而言,游戏的奖赏刺激是更加复杂的,图像和声音等感官刺激的输入使大脑处于兴奋状态,并与药物成瘾一样,对奖赏系统造成了长期的影响。

药物成瘾研究中发现,成瘾者对自然奖赏有钝化反应^[45-47],网络游戏成瘾者也表现出对自然奖赏的敏感性降低。然而,也有研究发现IGD人群表现出对金钱奖励的反应增加^[13],猜牌任务中连续获胜后,奖赏加工相关的脑区(如颞上回)的活跃程度更高^[48]。之所以出现这样矛盾的结果,有3种可能的原因。一是奖赏刺激的生态效度异质性大,与现实中真实的奖赏相比,金钱符号和社会奖赏字符的激励价值有限,甚至没有激活其他成瘾研究报告的纹状体和眶额皮层等奖赏关键区域^[41]。二是很难排除这一钝化效应是共病的精神障碍造成的。抑郁症人群和自闭症人群的快感缺失也会让他们表现出低敏感性的特点^[49-50],事实上,很多网络游戏成瘾者也有抑郁的症状^[2]。三是可能与奖赏加工的阶段有关,不同实验采用不同的研究范式,可能涉及不同的认知过程。例如,猜牌任务近似赌博游戏,两张牌的外型上没有任何差异,研究重点关注对奖赏结果的反应性,而金钱激励延迟任务(money incentive salience task, MITD)中的线索具有奖赏预测价值,任务包括奖赏预期和结果评估,下面本文就奖赏加工的这两个阶段进行梳理。

2 网络游戏成瘾者在不同奖赏加工阶段的缺陷

多巴胺能信号参与了奖赏预期和结果评估。在奖赏预期阶段,多巴胺活动与奖赏线索的预测值相关,有更高概率伴随奖赏的预测线索,可以诱发更

大的多巴胺神经元激活程度^[51]。在奖励结果评估阶段，多巴胺编码了实际收到的奖励结果与预期结果不一致的差值，即奖励预期误差 (reward prediction error, RPE)^[51-52]。黑质和中脑腹侧被盖区将误差信号发送到相关皮质结构用以调整奖励预期和后续的决策及行为^[53-54]。游戏的吸引力在于，即时、随处可见的意外奖赏让玩家获得了现实中难以

以得到的快感，游戏玩家可以在一次次的练习反馈中习得游戏技能，提升段位。这样，每一次使用游戏都可以通过预期误差信号使奖赏相关线索获得更大的动机价值^[55-56]。但随着玩家对游戏内容逐渐熟悉，享乐体验会有所下降^[57]，成瘾行为可能是由于监控奖赏反馈的能力下降，进而导致后续难以降低对游戏的预期 (图1)。

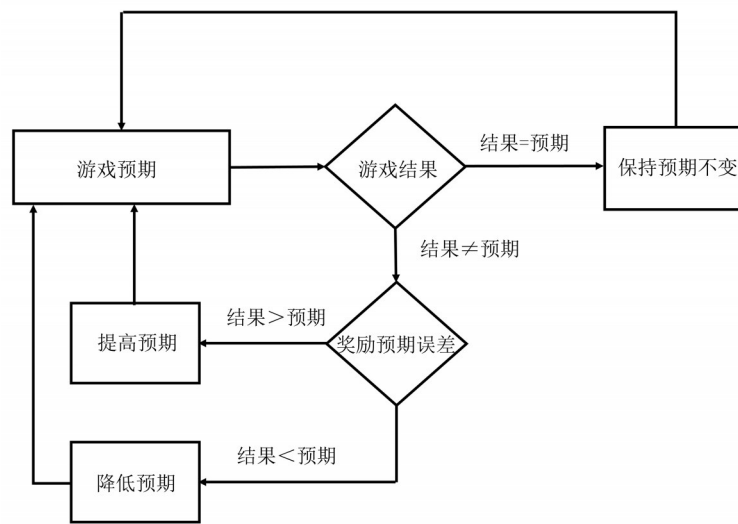


Fig. 1 Scheme of gaming reward learning by reward prediction error^[58]

图1 基于奖励预期误差的游戏奖赏学习过程^[58]

2.1 网络游戏成瘾者在奖赏预期阶段的加工缺陷

“差一点就赢了 (near-miss)” 好过 “总是赢”，许多游戏设计的目的便是诱发玩家更大的游戏期待。一成不变让人感到无聊，这一点在游戏体验中更为突出，即使“差一点就赢了”令人沮丧，但却诱发了继续游戏的最大意愿^[59]。玩家距离摆脱输了的体验仅一步之遥，他们期待着胜利的到来，这可能是玩家在游戏上比计划时间花费更久的原因。经过长时间的游戏训练，玩家不仅对游戏奖赏的期待值增加，纹状体和腹外侧前额叶反应显著增强^[60-61]，而且眶额皮层的灰质体积也显著减少^[62]。金钱是赌博人群的成瘾相关刺激，他们的奖赏系统在金钱奖赏预期阶段的激活程度也更高，并且对赌博结果有着过分乐观的预期^[63]。尼古丁成瘾者对吸烟图片的奖励期待值也高于其他奖赏刺激^[64]。以上结果表明，对成瘾相关奖赏的高期待，是物质成瘾和行为成瘾人群的共同特征。

与药物成瘾人群相比，IGD人群对自然奖赏的预期似乎没有明显损伤。刺激前负波 (stimulus

preceding negativity, SPN) 是一个先于相关刺激的非运动预期波，反映了预期注意和情绪动机，涉及多巴胺的释放过程^[65]，并与右侧脑岛的激活高度相关，动机越强，SPN 振幅越大^[66]。研究发现，IGD 组和健康对照组在简单赌博任务的金钱奖赏预期阶段的 SPN 振幅没有差异，但相较于控制组对高风险线索的 SPN 幅值增大，IGD 组对高低风险奖赏线索并不敏感^[11]。在 MIDT 任务中，被试根据金钱得失线索预期奖赏结果，在规定时间内按键以获得奖励和避免损失，程序将成功的概率控制在一定范围以保持被试对结果的期待感。结果发现，奖励预测线索显著激活了腹内侧前额叶、中央前回和辅助运动区，但 IGD 与对照组个体的 BOLD 信号没有差异^[67]。药物成瘾中，甲基苯丙胺成瘾者和海洛因成瘾者在金钱奖赏之前的预期阶段 (SPN 指标) 的激活均比对照组大^[68-69]。这说明，相较于长期暴露于药物的物质成瘾人群，IGD 的对金钱奖赏预期缺陷没有那么明显。另一种可能的解释是，金钱与药物获得有着直接的关联，他们日常用金钱换

取药物, 而IGD人群主要是时间贡献者。这似乎说明, 成瘾者对奖赏物的敏感性是特异性的, 与成瘾奖赏关系更加密切的刺激获得了更多的奖赏价值。

2.2 网络游戏成瘾者在奖赏结果评估阶段的加工缺陷

结果评估是人们对自身行为所导致的结果或外部反馈进行评价的过程, 这一过程具有适应性功能。游戏成瘾人群表现出对奖励和损失(错误)的不敏感, 难以根据反馈结果来调整引发负性后果的过度游戏行为。

IGD人群对奖励结果和风险的敏感性降低。一项fMRI研究显示, 相较于控制组, 他们在联想学习任务中金钱反馈阶段的腹内侧前额皮层和前扣带回激活减少^[70]。反馈相关负波(feedback related negativity, FRN)是反应奖赏敏感性的电生理指标, 尤其是期待和结果之间的差异, 其主要产生位置是前扣带回以及纹状体区域^[71]。研究发现, 多巴胺拮抗剂氟哌啶醇(haloperidol), 减小了侧翼任务(flanker task)中的FRN振幅, 这说明FRN依赖于多巴胺能机制^[72]。IGD组在简单赌博任务中收益结果和高风险结果的FRN振幅都小于控制组, 且FRN振幅与成瘾严重程度负相关, Δ FRN(损失与收益结果的差值)小于控制组^[38]。另外, 有研究显示, IGD组在高低风险金钱反馈的FRN没有差异^[11, 73]。这些结果提示, 对金钱奖励结果和风险的敏感性降低是IGD人群的重要特征^[74-75]。

另一部分研究关注了IGD人群在奖赏图片背景下对消极反馈的敏感性异常。识别错误的敏感性越高, 反馈相关负波波幅越大^[76]。在成瘾的发展过程中, 成瘾相关线索获得了诱因显著性(incentive salience), 对特异奖赏的注意偏向占用了监测错误行为的认知资源^[22]。在成瘾线索暴露环境下的go/nogo任务中, 相较于中性图片, 游戏图片背景条件诱发了网络成瘾者更小的FRN^[77], 且与抑制功能有关的Alpha频段的脑电能量活动降低^[78]。这说明, 游戏相关奖赏干扰了IGD个体对结果反馈的敏感性, 他们在成瘾相关图片背景下的错误识别能力较差。

综上所述, 目前对奖赏结果评估的研究多关注金钱得失和成瘾相关刺激背景下的错误加工, 并认为监测能力下降与IGD人群的高风险决策和忽视不良后果的冲动行为有关^[75]。此外, 有学者认为, 在游戏相关刺激背景下的FRN幅值减小意味着奖

赏图片满足了成瘾者的期待, 而中性图片则更出乎意料, 更不受欢迎, 引发了“错误反馈”^[77], 但目前缺乏直接的奖赏加工范式实验证明游戏奖赏的预期与结果加工的关系。因此, 当前实验结果显示IGD人群对自然奖励反馈的钝化, 但缺少关于游戏特异奖赏的反馈加工研究。

3 研究不足与展望

本文对IGD个体的奖赏加工缺陷研究进行了梳理。从奖赏类型来看, 对游戏线索的高反应性和对自然奖赏的钝化是IGD人群的重要特征; 从奖赏加工阶段来看, IGD个体表现出对游戏线索的高预期和对自然奖赏反馈的不敏感, 从而进一步支持了IGD个体的奖励缺陷综合征理论和诱因显著性理论。对自然奖赏的迟钝和对预测游戏奖赏的刺激敏化并不矛盾, 前者可能反映了IGD的易感性, 而后者可能是成瘾的结果^[79]。在强化学习过程中, 多巴胺充当学习信号的角色^[51], 学习就是根据上一次反馈更新预期, 并不断缩小期待和结果之间差距的过程, 一直到反馈被完全预测。游戏中设置不定时强化模式便是基于奖励预期和反馈发展起来的, 尤其是, 游戏奖励在行为开始前不太可能被准确预测。这样, 每一次使用游戏都可以通过预期误差信号来更新游戏相关线索获得的动机成分, 诱导强化学习和多巴胺信号的持续升级, 驱动游戏玩家再次打开游戏。通过这种学习过程, 成瘾特异性刺激开始主导动机行为, 是游戏成瘾和药物成瘾的共同特征^[23, 42]。但是, 目前IGD奖赏加工还存在一些需要澄清的问题。

一是特异性奖赏和非特异性奖赏的神经活动差异有待进一步研究。金钱奖励常常在实验中被用于研究IGD群体的奖赏加工^[11, 38, 70, 73]。另外, 采用游戏图片或视频作为奖赏线索, 中性材料作为非奖赏线索的fMRI对比研究较为普遍^[9, 26, 30, 48]。鲜有研究使用游戏特异性奖赏和非游戏奖赏进行直接比较, 尤其是将奖赏预期和结果评估阶段分开研究。未来研究可以关注IGD人群对不同类型奖赏的加工, 采用反应时间加工进程的脑电图(EEG)和反应多巴胺受体功能的PET神经影像技术, 厘清IGD人群的奖赏加工特点及神经机制。

二是IGD与奖赏加工的关系需要排除共病精神障碍的影响。在剔除共病障碍的被试后, 强迫性性行为群体对金钱线索的反应与健康对照组无显著差别^[80], 但也有研究显示, 赌博成瘾者对金钱和

色情线索的激活普遍低于对照组^[15]，两项研究结果的差异可能由共病的精神障碍（如抑郁症或快感缺失）解释。元分析发现^[81]，与没有共病的研究相比，排除共病被试的物质成瘾人群似乎在奖励预期过程中显示出更一致的纹状体低激活。因此，未来研究需进一步排除共病精神障碍对奖赏加工的影响。

三是需关注游戏奖赏预期和结果评估之间的关系。用反馈来指导后续行为的能力差，可能与高奖赏预期和对结果的监测能力较差有关^[82-83]。诱因显著性导致成瘾者对成瘾相关刺激的注意偏向以及自动检索过程，使个体产生“想要”的动机，是压倒性的持续增长对游戏奖赏的渴求，甚至逐渐脱离其享乐体验反馈^[84-85]。游戏的奖赏体验相对复杂，社交互动的参与感是游戏动机的重要来源^[9]。未来研究应该注重实验材料中游戏愉悦体验的评估，进一步说明游戏奖赏的预期和结果反馈之间的关系，这可能是玩家从娱乐性游戏到强迫性游戏转变的认知神经基础^[86]。

参 考 文 献

- [1] Wijman T. 2020 Global games market report[EB/OL]. Amsterdam: Newzoo, 2020[2022-02-23]. <https://newzoo.com/insights/trend-reports/newzoo-global-games-market-report-2021-free-version/>
- [2] Derevensky J L, Hayman V, Gilbeau L. Behavioral addictions: excessive gambling, gaming, internet, and smartphone use among children and adolescents. *Pediatr Clin North Am*, 2019, **66**(6): 1163-1182
- [3] Feng W, Ramo D E, Chan S R, *et al.* Internet gaming disorder: trends in prevalence 1998-2016. *Addict Behav*, 2017, **75**: 17-24
- [4] Mihara S, Higuchi S. Cross-sectional and longitudinal epidemiological studies of Internet gaming disorder: a systematic review of the literature. *Psychiatry Clin Neurosci*, 2017, **71**(7): 425-444
- [5] Kuss D J, Griffiths M D. Online gaming addiction in children and adolescents: a review of empirical research. *J Behav Addict*, 2012, **1**(1): 3-22
- [6] World Health Organization. Groups that were involved in ICD-11 revision process [EB/OL]. Geneva: World Health Organization, 2019[2019-12-28]. <https://www.who.int/classifications/icd/revision/en/>
- [7] Zheng H, Hu Y, Wang Z, *et al.* Meta-analyses of the functional neural alterations in subjects with internet gaming disorder: similarities and differences across different paradigms. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2019, **94**: 109656
- [8] Finserås T R, Krossbakken E, Pallesen S, *et al.* Near miss in a video game: an experimental study. *Int J Ment Health Addict*, 2019, **19**: 418-428
- [9] Kim B M, Lee J, Choi A R, *et al.* Event-related brain response to visual cues in individuals with internet gaming disorder: relevance to attentional bias and decision-making. *Transl Psychiatry*, 2021, **11**(1): 258
- [10] Decker S A, Gay J N. Cognitive-bias toward gaming-related words and disinhibition in World of Warcraft gamers. *Comput Hum Behav*, 2011, **27**(2): 798-810
- [11] Raiha S, Yang G, Wang L, *et al.* Altered reward processing system in internet gaming disorder. *Front Psychiatry*, 2020, **11**: 599141
- [12] Berridge K C, Robinson T E. Parsing reward. *Trends Neurosci*, 2003, **26**(9): 507-513
- [13] Wang L, Yang G, Zheng Y, *et al.* Enhanced neural responses in specific phases of reward processing in individuals with Internet gaming disorder. *J Behav Addict*, 2021, **10**(1): 99-111
- [14] Lei W, Liu K, Chen G, *et al.* Blunted reward prediction error signals in internet gaming disorder. *Psychol Med*, 2022, **52**(11): 2124-2133
- [15] Sescousse G, Barbalat G, Domenech P, *et al.* Imbalance in the sensitivity to different types of rewards in pathological gambling. *Brain*, 2013, **136**(8): 2527-2538
- [16] Zhou W R, Wang M, Dong G H, *et al.* Imbalanced sensitivities to primary and secondary rewards in internet gaming disorder. *J Behav Addict*, 2021, **10**(4): 990-1004
- [17] Yao Y W, Liu L, Ma S S, *et al.* Functional and structural neural alterations in Internet gaming disorder: a systematic review and meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev*, 2017, **83**: 313-324
- [18] Blum K, Gondre-Lewis M C, Baron D, *et al.* Introducing precision addiction management of reward deficiency syndrome, the construct that underpins all addictive behaviors. *Front Psychiatry*, 2018, **9**: 548
- [19] Bjork J M, Smith A R, Chen G, *et al.* Mesolimbic recruitment by nondrug rewards in detoxified alcoholics: effort anticipation, reward anticipation, and reward delivery. *Hum Brain Mapp*, 2012, **33**(9): 2174-2188
- [20] Robinson T E, Berridge K C. Review. The incentive sensitization theory of addiction: some current issues. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2008, **363**(1507): 3137-3146
- [21] Weinstein A, Lejoyeux M. Neurobiological mechanisms underlying Internet gaming disorder. *Dialogues Clin Neurosci*, 2020, **22**(2): 113-126
- [22] Dong G H, Wang M, Zhang J, *et al.* Functional neural changes and altered cortical-subcortical connectivity associated with recovery from Internet gaming disorder. *J Behav Addict*, 2019, **8**(4): 692-702
- [23] Heuer A, Mennig M, Schubo A, *et al.* Impaired disengagement of attention from computer-related stimuli in internet gaming disorder: behavioral and electrophysiological evidence. *J Behav Addict*, 2021, **10**(1): 77-87
- [24] Zheng Y, He J, Nie Y, *et al.* Influence of abstinence on automatic detection bias to gaming cues in individuals with internet gaming disorder: evidence from visual mismatch negativity.

- Psychophysiology, 2022, **59**(3): e13973
- [25] Koeppe M J, Gunn R N, Lawrence A D, *et al.* Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 1998, **393**(6682): 266-268
- [26] Lorenz R C, Kruger J K, Neumann B, *et al.* Cue reactivity and its inhibition in pathological computer game players. *Addict Biol*, 2013, **18**(1): 134-146
- [27] Zhou W R, Wang Y M, Wang M, *et al.* Connectome-based prediction of craving for gaming in Internet gaming disorder. *Addict Biol*, 2021, **27**(1): e13076
- [28] Zhang J L, Chen S Y, Jiang Q, *et al.* Disturbed craving regulation to gaming cues in Internet gaming disorder: implications for uncontrolled gaming behaviors. *J Psychiatr Res*, 2021, **140**: 250-259
- [29] Fecteau S, Pascual-Leone A, Zald D H, *et al.* Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making. *J Neurosci*, 2007, **27**(23): 6212-6218
- [30] Dong G, Zheng H, Liu X, *et al.* Gender-related differences in cue-elicited cravings in internet gaming disorder: the effects of deprivation. *J Behav Addict*, 2018, **7**(4): 953-964
- [31] Dong G H, Wang M, Zheng H, *et al.* Disrupted prefrontal regulation of striatum-related craving in internet gaming disorder revealed by dynamic causal modeling: results from a cue-reactivity task. *Psychol Med*, 2021, **51**(9): 1549-1561
- [32] Kim J, Park J, Park Y M, *et al.* Diminished frontal theta activity during gaming in young adults with internet gaming disorder. *Front Neurosci*, 2019, **13**: 1183
- [33] Buhler M, Vollstadt-Klein S, Kobiella A, *et al.* Nicotine dependence is characterized by disordered reward processing in a network driving motivation. *Biol Psychiatry*, 2010, **67**(8): 745-752
- [34] Volkow N D, Fowler J S, Wang G J, *et al.* Imaging dopamine's role in drug abuse and addiction. *Neuropharmacology*, 2009, **56**(1): 3-8
- [35] Kim S H, Baik S H, Park C S, *et al.* Reduced striatal dopamine D2 receptors in people with Internet addiction. *Neuroreport*, 2011, **22**(8): 407-411
- [36] Hou H, Jia S, Hu S, *et al.* Reduced striatal dopamine transporters in people with internet addiction disorder. *J Biomed Biotechnol*, 2012, **2012**(3): 854524
- [37] Han D H, Lee Y S, Yang K C, *et al.* Dopamine genes and reward dependence in adolescents with excessive internet video game play. *J Addict Med*, 2007, **1**(3): 133-138
- [38] Li Q, Wang Y, Yang Z, *et al.* Dysfunctional cognitive control and reward processing in adolescents with internet gaming disorder. *Psychophysiology*, 2020, **57**(2): e13469
- [39] Dong G, Li H, Wang L, *et al.* Cognitive control and reward/loss processing in Internet gaming disorder: results from a comparison with recreational internet game-users. *Eur Psychiatry*, 2017, **44**: 30-38
- [40] Rho M J, Lee H, Lee T H, *et al.* Risk factors for internet gaming disorder: psychological factors and internet gaming characteristics. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, **15**(1): 40
- [41] Kim J E, Son J W, Choi W H, *et al.* Neural responses to various rewards and feedback in the brains of adolescent internet addicts detected by functional magnetic resonance imaging. *Psychiat Clin Neurosci*, 2014, **68**(6): 463-470
- [42] Goudriaan A E, De Ruiter M B, Van Den Brink W, *et al.* Brain activation patterns associated with cue reactivity and craving in abstinent problem gamblers, heavy smokers and healthy controls: an fMRI study. *Addict Biol*, 2010, **15**(4): 491-503
- [43] Limbrick-Oldfield E H, Mick I, Cocks R E, *et al.* Neural substrates of cue reactivity and craving in gambling disorder. *Transl Psychiatry*, 2017, **7**(1): e992
- [44] King D L, Herd M C E, Delfabbro P H. Tolerance in Internet gaming disorder: a need for increasing gaming time or something else?. *J Behav Addict*, 2017, **6**(4): 525-533
- [45] Asensio S, Romero M J, Palau C, *et al.* Altered neural response of the appetitive emotional system in cocaine addiction: an fMRI Study. *Addict Biol*, 2010, **15**(4): 504-516
- [46] Jastreboff A M, Sinha R, Lacadie C M, *et al.* Blunted striatal responses to favorite-food cues in smokers. *Drug Alcohol Depend*, 2015, **146**: 103-106
- [47] Breedon J, Ziauddeen H, Ersche K D. Wanting food in cocaine addiction: a more complex relationship. *Eur Neuropsychopharmacol*, 2019, **29**: S489-S490
- [48] Dong G, Hu Y, Lin X. Reward/punishment sensitivities among internet addicts: implications for their addictive behaviors. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2013, **46**: 139-145
- [49] Kohls G, Thonessen H, Bartley G K. Differentiating neural reward responsiveness in autism versus ADHD. *Dev Cogn Neurosci* 2014, **10**: 104-116
- [50] Halahakoon D C, Kieslich K, O'driscoll C, *et al.* Reward-processing behavior in depressed participants relative to healthy volunteers: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, 2020, **77**(12): 1286-1295
- [51] Schultz W. Behavioral theories and the neurophysiology of reward. *Annu Rev Psychol*, 2006, **57**(1): 87-115
- [52] Tian J, Uchida N. Habenula lesions reveal that multiple mechanisms underlie dopamine prediction errors. *Neuron*, 2015, **87**(6): 1304-1316
- [53] Walsh M M, Anderson J R. Learning from experience: event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice. *Neurosci Biobehav Rev*, 2012, **36**(8): 1870-1884
- [54] Chong T T J. Updating the role of dopamine in human motivation and apathy. *Curr Opin Behav Sci*, 2018, **22**: 35-41
- [55] Fiorillo C D, Tobler P N, Schultz W. Discrete coding of reward probability and uncertainty by dopamine neurons. *Science*, 2003, **299**(5614): 1898-1902
- [56] Redish A D. Addiction as a computational process gone awry. *Science*, 2004, **306**(5703): 1944-1947
- [57] Gleich T, Lorenz R C, Gallinat J, *et al.* Functional changes in the reward circuit in response to gaming-related cues after training with a commercial video game. *Neuroimage*, 2017, **152**: 467-475

- [58] Schultz W. Neuronal reward and decision signals: from theories to data. *Physiol Rev*, 2015, **95**(3): 853-951
- [59] Larche C J, Musielak N, Dixon M J. The Candy Crush sweet tooth: how 'near-misses' in Candy Crush increase frustration, and the urge to continue gameplay. *J Gamb Stud*, 2017, **33**(2): 599-615
- [60] Lorenz R C, Gleich T, Gallinat J, *et al.* Video game training and the reward system. *Front Hum Neurosci*, 2015, **9**: 40
- [61] Ahn H M, Chung H J, Kim S H. Altered brain reactivity to game cues after gaming experience. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*, 2015, **18**(8): 474-479
- [62] Zhou F, Montag C, Sariyska R, *et al.* Orbitofrontal gray matter deficits as marker of Internet gaming disorder: converging evidence from a cross-sectional and prospective longitudinal design. *Addict Biol*, 2019, **24**(1): 100-109
- [63] Van Holst R J, Veltman D J, Buchel C, *et al.* Distorted expectancy coding in problem gambling: is the addictive in the anticipation?. *Biol Psychiatry*, 2012, **71**(8): 741-748
- [64] Parker A B, Gilbert D G. Brain activity during anticipation of smoking-related and emotionally positive pictures in smokers and nonsmokers: a new measure of cue reactivity. *Nicotine Tob Res*, 2008, **10**(11): 1627-1631
- [65] Mattox S T, Valle-Inclan F, Hackley S A. Psychophysiological evidence for impaired reward anticipation in Parkinson's disease. *Clin Neurophysiol*, 2006, **117**(10): 2144-2153
- [66] Masaki H, Takeuchi S, Gehring W J, *et al.* Affective-motivational influences on feedback-related ERPs in a gambling task. *Brain Res*, 2006, **1105**(1): 110-121
- [67] Yao Y W, Liu L, Worhunsky P D, *et al.* Is monetary reward processing altered in drug-naïve youth with a behavioral addiction? Findings from Internet gaming disorder. *Neuroimage Clin*, 2020, **26**: 102202
- [68] Wei S, Zheng Y, Li Q, *et al.* Enhanced neural responses to monetary rewards in methamphetamine use disordered individuals compared to healthy controls. *Physiol Behav*, 2018, **195**: 118-127
- [69] Zhao Q, Li H, Hu B, *et al.* Abstinent heroin addicts tend to take risks: ERP and source localization. *Front Neurosci*, 2017, **11**: 681
- [70] Kim J, Kim H, Kang E. Impaired feedback processing for symbolic reward in individuals with internet game overuse. *Front Psychiatry*, 2017, **8**: 195
- [71] Becker M P, Nitsch A M, Miltner W H, *et al.* A single-trial estimation of the feedback-related negativity and its relation to BOLD responses in a time-estimation task. *J Neurosci*, 2014, **34**(8): 3005-3012
- [72] Zirnheld P J, Carroll C A, Kieffaber P D, *et al.* Haloperidol impairs learning and error-related negativity in humans. *J Cogn Neurosci*, 2004, **16**(6): 1098-1112
- [73] Ko C H, Hsieh T J, Chen C Y, *et al.* Altered brain activation during response inhibition and error processing in subjects with internet gaming disorder: a functional magnetic imaging study. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*, 2014, **264**(8): 661-672
- [74] Dong G, Huang J, Du X. Enhanced reward sensitivity and decreased loss sensitivity in internet addicts: an fMRI study during a guessing task. *J Psychiatr Res*, 2011, **45**(11): 1525-1529
- [75] Park M, Jung M H, Lee J, *et al.* Neurophysiological and cognitive correlates of error processing deficits in internet gaming disorder. *Cereb Cortex*, 2020, **30**(9): 4914-4921
- [76] Paul K, Vassena E, Severo M C, *et al.* Dissociable effects of reward magnitude on fronto-medial theta and FRN during performance monitoring. *Psychophysiology*, 2020, **57**(2): e13481
- [77] Balconi M, Venturella I, Finocchiaro R. Evidences from rewarding system, FRN and P300 effect in internet-addiction in young people. *Brain Sci*, 2017, **7**(12): 81
- [78] Balconi M, Finocchiaro R. Deficit in rewarding mechanisms and prefrontal left/right cortical effect in vulnerability for internet addiction. *Acta Neuropsychiatr*, 2016, **28**(5): 272-285
- [79] Clark L, Boileau I, Zack M. Neuroimaging of reward mechanisms in Gambling disorder: an integrative review. *Mol Psychiatry*, 2019, **24**(5): 674-693
- [80] Gola M, Wordecha M, Sescousse G, *et al.* Can pornography be addictive? An fMRI study of men seeking treatment for problematic pornography use. *Neuropsychopharmacology*, 2017, **42**(10): 2021-2031
- [81] Luijten M, Schellekens A F, Kuhn S, *et al.* Disruption of reward processing in addiction: an image-based meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *JAMA Psychiatry*, 2017, **74**(4): 387-398
- [82] Garavan H, Stout J C. Neurocognitive insights into substance abuse. *Trends Cogn Sci*, 2005, **9**(4): 195-201
- [83] Soder H E, Webber T A, Bornovalova M A, *et al.* A test of dopamine hyper- and hyposensitivity in alcohol use. *Addict Behav*, 2019, **90**: 395-401
- [84] Volkow N D, Tomasi D, Wang G J, *et al.* Stimulant-induced dopamine increases are markedly blunted in active cocaine abusers. *Mol Psychiatry*, 2014, **19**(9): 1037-1043
- [85] Berridge K C, Robinson T E. Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction. *Am Psychol*, 2016, **71**(8): 670-679
- [86] Perales J C, King D L, Navas J F, *et al.* Learning to lose control: a process-based account of behavioral addiction. *Neurosci Biobehav Rev*, 2020, **108**: 771-780

The Neural Mechanism of Reward Processing Deficits in Individual With Internet Gaming Disorder*

ZHOU Xin-Yu^{1,2)}, WEN Ya-Tong^{1,3)}, QIAO Si-Yue^{1,2)}, LI Yong-Hui^{1,3)**}

¹⁾CAS Key Laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Beijing 100101, China;

²⁾Sino-Danish College, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³⁾Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Internet gaming disorder (IGD) is a neurodevelopmental disorder characterized by dysfunctional reward processing. Recent studies combined experimental techniques of cognitive neuroscience to explore the neural mechanisms of IGD, and the existing results seem to indicate that the neural basis underlying IGD resembles those of drug addiction. However, the conclusions of the current research are still controversial. The differences were not surprising for two main reasons. One is that there is evidence of specificity to reward processing of different types, which means gaming addicts assign higher incentive value to gaming-related cues than other rewards. The appeal of game is that instant and unexpected rewards give the player a thrill that is hard to experience in reality. Besides, the stage of reward processing is another important factor. The game player can learn the game skill according to the feedback of practice again and again and achieve the upper level, in this way, reward processing can be decomposed into two phases: reward anticipation and outcome evaluation. Reward anticipation refers to the emotional and motivational states triggered by reward-related cues, while outcome evaluation refers to the hedonic experience when rewards are obtained. Thus, this review has compared different types of rewards and discussed different stages of reward processing among IGD patients based on the existing researches. We found the hyperactive reward system of IGD patients in reward anticipation may be associated with attention bias, emotional experience, and craving. In contrast, IGD patients show blunt activity to primary reward, especially the outcome evaluation. In order to conduct a more comprehensive and in-depth study on reward processing in IGD, further studies are required to eliminate comorbid subjects, use gaming rewards with higher ecological validity, and explore how the impairment of outcome evaluation contributes to the development of addictive behaviors.

Key words internet gaming disorder, reward processing, incentive salience, neural mechanism

DOI: 10.16476/j.pibb.2021.0368

* This work was supported by a grant from The National Natural Science Foundation of China (32161133004).

** Corresponding author.

Tel: 86-10-64850437, E-mail: liyonghui@psych.ac.cn

Received: November 30, 2021 Accepted: February 16, 2022