

网络成瘾者奖赏系统和认知控制系统的神经机制*

李琦¹⁾ 齐玥^{1, 2)} 田莫千^{1, 2)} 张侃¹⁾ 刘勋^{1)**}

(¹⁾中国科学院心理研究所, 行为科学重点实验室, 北京 100101; ²⁾中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 网络成瘾作为一种行为成瘾, 已成为严重影响人们心理健康的全球性问题。根据大脑发育的神经生物模型, 揭示网络成瘾者奖赏和认知控制系统的神经机制是解决网络成瘾问题的关键, 也是心理学研究的重大问题。行为研究探讨了网络成瘾具有高奖赏寻求和低认知控制特征; 神经机制研究揭示了奖赏和认知控制系统的缺陷是网络成瘾行为的高风险因素; 与药物成瘾的比较研究发现, 网络成瘾有着独特的奖赏机制。这些研究深化了对网络成瘾心理和神经机制的理解, 但仍存在网络成瘾筛查和入组标准不科学、分型笼统、因果研究匮乏、干预和治疗效果具有争议、研究范式存在漏洞等一些急需解决的问题。

关键词 网络成瘾, 青少年, 奖赏寻求, 认知控制, 神经机制

学科分类号 B845, R395

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2014.00023

1 网络成瘾概念的界定

网络成瘾名称最早由精神病学家 Goldberg 等^[1]提出, Young^[2]参照药物和赌博成瘾的诊断模式描述了网络成瘾。但是, 目前国际上对网络成瘾现象的命名是多样的, 综合起来主要包括两类: 一类主要用“依赖”或者“病态使用”来命名。如, 病理性互联网使用(pathological internet use, PIU)、网络行为依赖(internet behavior dependence, IBD)、病态计算机使用(pathological computer use, PCU)及问题型互联网使用(problematic internet use)等^[3]。另一类主要用“成瘾”命名。如, 网络成瘾障碍(internet addiction disorder, IAD)和网络成瘾(internet addiction, IA)等^[4]。由于对网络成瘾概念的界定尚未达成一致意见, 因此, 探讨网络成瘾者奖赏和认知控制系统的神经机制, 必须首先科学认识网络成瘾, 对网络成瘾形成一个科学统一的命名和定义。

国际上对网络成瘾的研究是从最初对毒品成瘾、酒精成瘾、尼古丁成瘾等药物成瘾的比较中发展而来的^[4], 网络成瘾的概念也是在与药物成瘾的比较中引申出来的^[1]。持上述第一类观点的学者指

出, 网络成瘾与药物成瘾不同, 它本质上不是一种“成瘾”。药物成瘾是通过长期药物使用产生的, 生理依赖是其核心。网络成瘾是一种没有任何药物摄入的纯行为成瘾, 对网络的心理“依赖”或者“病态使用”是其核心, 没有药物成瘾那么严重, 称不上“成瘾”^[5]。持上述第二类观点的学者指出, 网络成瘾与药物成瘾一样, 本质上是一种“成瘾”行为。尽管网络成瘾属于行为成瘾, 药物成瘾属于物质成瘾, 但是它们的发生机制都是致瘾源(网络或药物)作用于大脑的“奖赏系统”, 造成“奖赏系统”对网络或药物的过度依赖导致的^[4]。

针对上述两类命名, 笔者从网络成瘾与药物成瘾的比较出发, 综合相关研究认为, 网络成瘾是一种行为成瘾, 和药物成瘾一样会造成成瘾者控制能力降低、奖赏寻求增加、耐受性增强, 并且具有戒断反应和精神及躯体症状等临床特征。其理由

* 国家自然科学基金(31200782, 31271194, 91124003), 北京市自然科学基金(7133250), 国家科技支撑计划项目(2012BAI36B01)和中国科学院国际创新研究团队资助(Y2CX131003)资助项目。

** 通讯联系人。

Tel: 010-64847153, E-mail: liux@psych.ac.cn

收稿日期: 2014-04-23, 接受日期: 2014-05-23

如下:

a. 网络成瘾与药物成瘾都具有成瘾的临床表现^[6]. 药物成瘾者具有耐药性, 需要不断增加药物剂量才可达到原先较少剂量所能产生的效果, 一旦停用药物就会发生极度难受的戒断综合征. 网络成瘾者存在对网络使用的耐受现象, 他们对上网时间的要求不断增加, 停止或减少网络活动时出现烦躁、易激惹及坐立不安等戒断症状, 而“耐受”及“戒断”恰恰是成瘾的两个重要特征.

b. 网络成瘾与药物成瘾都会造成行为控制能力的受损^[7]. 成瘾的核心要素是行为控制能力降低. 药物成瘾是一种机体反复与成瘾药物接触引起的慢性复发性脑病, 成瘾者的主要特点是强迫性用药, 即失去了对药物寻觅和摄取的控制. 网络成瘾是成瘾者在网络这种非物质形态的成瘾因素重复刺激下诱导产生对网络的长期着迷状态, 上网的快感使成瘾者对自身行为控制力下降, 产生一种病理性的网络使用行为, 以追求网络所带来的快感.

c. 网络成瘾与药物成瘾有着共同的奖赏回路相关的神经生物基础^[4, 7]. 大量研究发现, 参与组成奖赏系统以及学习记忆系统的大多数脑区, 如纹状体(striatum)、杏仁核(amygdala)、丘脑前核(anterior thalamic nucleus)、中脑水管周围灰质(midbrain periaqueductal gray), 特别是腹侧被盖区(ventral tegmental area)等是参与构成药物成瘾的生理结构基础. 网络成瘾产生的生理解剖结构也涉及中脑腹侧被盖区、伏隔核(nucleus accumbens)、杏仁核、下丘脑(hypothalamus)、内侧前额叶皮层(medial prefrontal cortex)、海马(hippocampus)等.

2 网络成瘾者奖赏寻求和认知控制神经机制研究的意义

网络成瘾作为一种行为成瘾, 和药物成瘾一样, 已经成为人们需要特别关注的成瘾问题. 研究网络成瘾的神经机制, 其意义如下:

a. 揭示网络成瘾的原因、制定预防和干预方案已成为关系人们身心健康和成长的重要课题^[8].

《第32次中国互联网络发展状况报告》显示, 截至2013年6月底, 中国网民规模达5.91亿, 其中, 青少年是网络用户的主体, 10~29岁的网络用户占网民总人数的52.7%. 《中国青少年上网行为调查报告》显示, 截至2010年底, 仅城市青少年网瘾人数就达2404.2万人, 并持续迅速增长^[9]. 网络成瘾者无法正常工作和生活, 身心健康受到损害, 甚

至引发一系列心理障碍、犯罪、自杀等困扰家庭和社会的严重问题^[10-12]. 2013年, 网络成瘾作为一种精神障碍被纳入已出版的DSM-V(第五版精神障碍诊断和统计手册)^[13]. 因此, 解决网络成瘾问题是关系人们心理健康的全球性问题^[14].

b. 探索网络成瘾的神经机制能够突破对网络成瘾问题现象学描述的局限, 推动网络成瘾问题的解决^[7]. 以往研究大多采用问卷调查和访谈等方法, 从认知、人格、行为、家庭等方面对网络成瘾的原因进行现象学描述, 缺乏认知神经科学方面的深层次研究. 网络成瘾者在神经生理学方面存在异常^[4], 其形成主要是心理因素所致^[15]. 探索网络成瘾与脑内特定的神经环路或神经中枢的相关性, 才能从根本上获得网络成瘾者心理特征与神经生理机制的因果联系^[7], 从而更好地研究心理依赖的神经机制、进一步解决成瘾问题.

c. 研究网络成瘾者奖赏寻求和认知控制神经机制有利于解决网络成瘾问题. 大脑发育的神经生物模型指出, 各种成瘾行为可能是其大脑奖赏系统和认知控制系统发展不均衡的结果^[16]. 该模型通过大量来自青春期动物和人的神经成像研究发现, 青少年之所以是各种成瘾问题的高发人群, 在于大脑在从儿童到成人的成长过程中是非线性增长的, 相比于儿童和成人, 青少年自下而上的、与奖赏加工相关的边缘系统发展过于迅速, 而自上而下的、与认知控制相关的前额叶发展又相对迟滞^[17-19], 这是造成青少年网络成瘾在内的各种成瘾问题高发的主要原因(图1). 从大脑发育的神经生物模型出发,

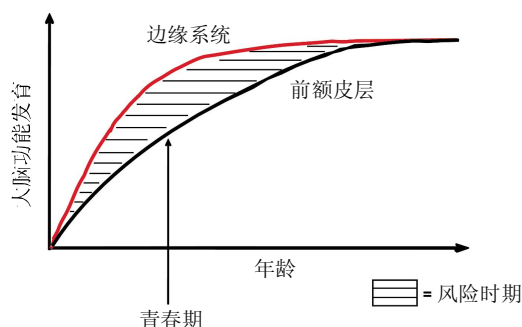


Fig. 1 The neurobiological model of brain development^[16]

图1 大脑发育的神经生物模型^[16]

该图展示, 相比于儿童和成人, 青少年皮下边缘区的发展过快及前额叶皮层发展迟滞之间的不平衡是造成青少年成瘾的高风险因素. 红色曲线反映的是与奖赏系统有关的边缘系统随年龄增长其功能发展的速度; 黑色曲线反映的是与认知控制系统有关的前额叶皮层随年龄增长其功能发展的速度; 两曲线间的距离反映了边缘系统和前额叶功能发展不平衡的程度, 它预测了成瘾等各种问题行为的风险水平.

揭示网络成瘾者大脑奖赏系统和认知控制系统的关系, 即, 网络成瘾者是奖赏系统或认知控制系统存在缺陷, 还是两系统发育不平衡, 是解决网络成瘾特别是青少年网络成瘾问题的关键.

3 网络成瘾者奖赏寻求和认知控制的行为研究

3.1 网络成瘾者的奖赏寻求特征

以往行为研究主要从以下三个方面探索网络成瘾与奖赏寻求之间的关系.

a. 奖赏寻求在网络成瘾中的作用. 研究者采用强迫性网络成瘾问卷(compulsive internet use scale, CIUS)和行为趋近问卷(behavioral approach system scale, BAS)发现, 奖赏的渴望可以作为评估和预测网络成瘾行为的指标^[20], 奖赏寻求作为一个风险因素是网络成瘾的风险因子, 具有较高奖赏寻求人格特质的个体更可能成为网络成瘾者^[4].

b. 网络成瘾者具有较高的奖赏寻求特征. 延迟折扣的研究发现, 相比于非成瘾者, 网络成瘾者延迟折扣率更大, 他们更难为了大的长远利益而放弃眼前小的诱惑^[21]. 大量流行病学调查发现, 中国文化背景下网络成瘾与奖赏寻求特征的相关程度高于西方背景^[2]. 这可能是因为中国学生学业压力过大, 使得他们在休闲时上网寻求快乐以致成瘾. 而西方学生学业压力小, 他们更倾向于从事危险活动(酗酒、吸烟及吸毒等)而非上网. 然而, 一些研究者采用三维人格问卷(tridimensional personality questionnaire, TPQ)考查网络成瘾者的人格特征发现, 网络成瘾大学生的奖赏寻求倾向反而比正常大学生更低, 损失规避特征也没有差异^[2]. 值得警惕的是, 这项研究将每周上网时间大于 20 h 的大学生界定为成瘾者, 而将每天上网时间小于 2 h 的大学生界定为非成瘾者, 这种网络成瘾的界定标准显然是值得商榷的, 因而其结论也可能是不科学的.

c. 网络环境本身促进奖赏寻求行为, 进而促进网络成瘾的产生. 我们的问卷调查发现, 网络环境本身的虚拟性、匿名性等特点促进了人们过分、无约束地寻求奖赏, 人们在网络环境下的决策行为功利性更强^[24]. 对网络游戏者的调查发现, 网络游戏能够让成千上万的人同时在线玩, 为了达到“过关”、“升级”等目的, 人们彼此之间会加强竞争与合作, 并且他们在游戏中扮演的角色, 即所谓的“化身”, 随着级别的增高在虚拟网络社会中会拥有超乎寻常的能力和德高望重的地位, 这些网络游戏

本身的结构特点强烈地吸引游戏玩家沉溺其中^[25].

3.2 网络成瘾者的认知控制特征

以往行为研究主要从以下两个方面探索网络成瘾与认知控制之间的关系.

a. 认知控制在网络成瘾中的作用. 研究者采用网络在线认知问卷(online cognition scale, OCS)、第四版精神障碍诊断统计手册(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders Fourth Edition, DIM-IV)、Barratt 冲动量表(barratt impulsiveness scale-11, BIS-11)发现: 造成网络成瘾的关键因素之一是网络成瘾者认知控制能力的降低^[26-30]; 认知控制缺乏是网络成瘾的风险因子^[4]; 自我控制能力和网络成瘾显著负相关, 并且自我控制水平能够预测和评估网络成瘾^[31-32].

b. 网络成瘾者认知控制能力降低. 一些研究认为, 反应抑制是决策功能的一部分, 决策功能损害的测量可以解释为反应抑制功能的损害^[33]. 在赌博任务中发现, 相比于控制组, 网络成瘾组没有做出更多的错误决策, 但是他们对决策策略的掌握更慢^[34]. 在 GoStop 任务中发现, 网络成瘾青少年比健康青少年抑制 Stop 反应的错误率高, Young 的网络成瘾问卷得分与抑制 Stop 反应的失败次数显著正相关, 与冲动问卷 BIS-11 的得分显著正相关^[28]. 然而, 在 go/no-go 任务中却发现, 网络成瘾大学生与控制组大学生在 go 条件的反应时和正确率都没有差异, 网络成瘾者在 no-go 条件的正确率更高^[34]. 之所以出现上述看似矛盾的结果, 我们推测至少有两种可能性: 一是两个任务都不是特异于网络成瘾相关的认知控制任务, 没有特定地反映出网络成瘾者在抑制网络使用方面的缺陷. 二是 GoStop 任务中的网络成瘾者是青少年, 而 go/no-go 任务中的网络成瘾者是大学生, 与青少年成瘾者相比, 大学生网络成瘾者的网龄更长, 长期玩网络游戏可能弥补甚至提升了他们的抑制控制能力.

4 网络成瘾者奖赏和认知控制系统的神经机制研究

以往药物成瘾神经机制的研究揭示了奖赏寻求和认知控制之间存在着微妙的制衡关系^[35-36]. 一方面, 成瘾刺激物通过多巴胺通道的伏隔核, 增强了纹状体区域的活动^[37], 而纹状体是典型的奖赏区域^[38]. 另一方面, 成瘾性刺激引发更强的奖赏寻求行为, 使负责认知控制的额叶皮层功能失调^[39-41]. 网络成瘾可能与其他药物成瘾以及行为成瘾分享相

似的神经基础^[42]。

4.1 网络成瘾者的奖赏系统

奖赏系统是构成网络成瘾的重要神经生物基础。研究表明, 与奖赏有关的纹状体和中脑区域包括整个纹状体和黑质(substantia nigra)的多巴胺神经元。首先, 纹状体会接受来自眶额叶皮层和前扣带皮层以及来自中脑的大量多巴胺能的输入。接着, 纹状体再把信息投射到腹侧苍白球(ventral pallidum)和腹侧背盖区/黑质, 转而通过丘脑背内侧核投射到前额叶皮层, 形成环路。这个环路是皮层-基底节系统的完整部分。此外, 其他的大脑结构, 包括杏仁核、海马、外侧缰核(lateral habenular nucleus)以及特定的脑干结构, 像脚桥核(pedunculopontine nucleus)和中缝核(raphe nuclei)也是调节奖赏环路的重要组成部分^[43-44]。

近年来, 研究者从遗传学、神经影像学、精神病理学等方面初步探索了网络成瘾者奖赏系统的神经机制。

基因多态性的一项研究发现, 携带 TaqA1 等位基因和 COMT 低活性等位基因的人, 其多巴胺能系统存在缺陷, 更容易产生网络成瘾^[45]。这说明, 网络成瘾者具有特定的神经生物特征, 因而, 对网络成瘾的治疗不仅需要心理疏导、行为矫正, 特定的药物治疗也是必需的。作为一项基因研究, 该研究的样本量相对较小(成瘾组 79 人, 控制组 74 人), 不能确切地证实网络成瘾者多巴胺基因的改变在精神病理学中的作用。基因多态性的另一项研究发现, 相比于健康者, 网络成瘾者有更高频次的 5-羟色胺转运蛋白基因, 该基因与更高的损失规避得分相联系^[46]。值得注意的是, 该研究事后多重比较校正的统计值仅达到 $P < 0.05$, 数据结果的显著程度较低。

大量神经影像学运用多种技术手段一致发现, 网络成瘾者的奖赏系统功能异常。单光子发射计算机化成像(single photon emission computed tomography, SPECT)研究发现, 网络成瘾者的多巴胺转运体(dopamine transporter, DAT)水平显著降低^[47], 由此他们认为, 网络成瘾可能和药物成瘾有着相似的神经生物学上的变异。但是, 该研究没有直接和其他成瘾行为比较, 结论只是推测性的。

形态测量研究发现, 网络成瘾者在与情绪性行为调节相联系的左前扣带皮层、左后扣带皮层、左脑岛和左舌回等区域的灰质密度降低^[48]。这表明, 网络成瘾者大脑结构的改变可能是网络成瘾的发病

机理。弥散张量成像研究(diffusion-tensor imaging, DTI)发现, 网络成瘾者左侧内囊后肢的部分各向异性值(fractional anisotropy, FA)增加, 而右侧旁海马回的白质 FA 值减低, 并且灰质和白质体积的改变与网络成瘾者成瘾的时间显著相关^[48]。这表明, 网络成瘾的大脑微结构发生了改变。然而, 一方面, 这项研究没有控制网络成瘾组和控制组的其他因素, 无法排除大脑结构的改变是否与抑郁、药物成瘾或严重的大脑萎缩等因素相关, 另一方面, 这项研究也无法得出网络成瘾和大脑微结构改变之间的因果关系。

采用正电子断层摄影术(positron-emission tomography, PET)的一项研究发现, 人们玩视频游戏期间相对于休息期间, 纹状体中绑定到 D2 受体的雷氯必利减少^[49], 这说明, 游戏这种“精神食粮”改变了大脑的神经生化水平。PET 的另一项研究发现, 网络成瘾组相比于健康组, 纹状体中绑定到 D2 受体的雷氯必利减少, 且减少程度和网络成瘾程度正相关^[47], 这证实了网络成瘾者神经生化水平的改变, 但却依旧没有证实网络成瘾和神经生化水平改变之间的因果关系。

一项功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究^[50]发现, 与控制任务相比, 当人们在玩“空间争夺”游戏时, 涉及奖赏和成瘾相关的神经元回路, 如, 脑岛、伏隔核、背外侧前额叶皮层和眶额叶皮层有更强的激活。这说明, 一个真实的游戏确实能够通过行为改变大脑。该研究还发现, 在游戏中, 男性中脑边缘多巴胺系统的激活和功能连接、对赢的渴望以及对奖赏的习得均高于女性。这些结果能够从神经影像的角度帮助人们理解, 为什么男性更喜欢玩游戏、更容易网络成瘾。fMRI 的另一项研究^[51]让大学生连续玩 6 周网络游戏, 并在玩游戏前以及玩 6 周游戏后对大学生的大脑进行功能成像扫描。比较前后测脑功能成像发现, 6 周以后发展为网络成瘾的人看网络游戏线索时, 前扣带皮层和眶额叶皮层都有更大的激活, 而没有网络成瘾的游戏者大脑激活模式没有改变。这项纵向研究, 从因果归因上证实了网络成瘾能够改变大脑的激活模式。该研究还发现, 自我报告玩网络游戏的渴望程度和前额叶皮层的激活正相关。这表明, 无论是网络成瘾者还是有成瘾特征的个体, 对网络游戏的渴望都改变了大脑奖赏网络的激活模式, 前额叶激活的改变可能是网络成瘾早期开始的标志。猜卡片的赌博任务发现, 与健康组相

比, 在赢得的试次中, 网络成瘾者与奖赏加工相关的眶额叶皮层激活更强, 且与网络成瘾的程度正相关; 在损失试次中, 网络成瘾者与损失加工相关的前扣带回激活更低^[52]. 这说明, 网络成瘾者不但对奖赏的敏感性增强, 而且对损失的敏感性降低. 此外, 一些研究发现, 网络成瘾者即便是在静息状态下也表现出大脑奖赏网络激活的异常. 比如, 采用局域同质性(regional homogeneity, ReHo)的方法发现, 相比于正常的控制组, 网络成瘾者海马等奖赏网络激活增加^[53]. 这表明, 网络成瘾改变了大脑的奖赏回路. 但是, 由于脑区同质性的评估是在静息状态下获得的, 因而也无法推论大脑激活的变化和网络成瘾之间的因果关系.

精神病理学纵向研究发现, 连续 6 周给网络游戏成瘾者服用治疗药物成瘾的药丁基丙酸苯, 抑制多巴胺的重新摄取, 也可以治疗网络成瘾^[54]. 这表明, 丁基丙酸苯至少可以改变大脑对成瘾刺激的心理依赖, 网络成瘾和其他药物成瘾有着相似的神经生物学基础.

4.2 网络成瘾者的认知控制系统

大量网络成瘾的研究发现, 网络成瘾者的认知控制功能受损, 且与认知控制功能相关的脑区出现异常. 然而, 目前仅有少量相关电位(event-related potential, ERP)研究和脑成像研究初步探索了网络成瘾者认知控制的神经机制.

一些 ERP 研究采用 go/no-go 任务或颜色 - 字词 Stroop 任务发现, 网络成瘾者认知控制能力降低. 在一些 go/no-go 任务中, 相比于健康者, 网络成瘾者在 no-go 条件下前额区和中央区表征冲突监控的 N2 成分的振幅降低^[26, 55], 表征反应评估的 P300 振幅增高、峰潜伏期延长^[55]. 这表明, 网络成瘾者信息加工更加低效、冲动控制能力更差, 需要更多的认知资源和意志努力进行反应评估和抑制控制. 还有一项 go/no-go 任务研究考察了网络成瘾者的错误相关负波(ERN)发现, 网络成瘾者的 ERN 振幅减低, 自我报告冲动性更高, 行为抑制控制的表现也更差^[56]. 该研究采用 ERP、自我报告、行为等测量方法, 均支持网络成瘾者反应抑制能力存在缺陷, 增加了研究结果的有效性和可靠性. 在颜色 - 字词 Stroop 任务中, 与控制组相比, 网络成瘾者在一致条件下的反应速度更慢, 在不一致条件下有更多的错误反应且中前额负波(MFN)的偏斜减低^[57]. 这表明, 相比于控制组, 网络成瘾者的认知控制能力受损. 测量认知控制的标准听觉

oddball 任务发现, 网络成瘾者与认知加工相关的 P300 的潜伏期延长, 但通过 3 个月的认知 - 行为治疗, P300 的潜伏期显著缩短^[58]. 这个纵向研究表明, 网络成瘾者有认知控制的缺陷, 并且这种缺陷通过认知 - 行为治疗是可以弥补的.

PET 研究发现, 青少年网络成瘾者与认知控制相关的双侧中央后回、左中央前回、双侧枕区葡萄糖代谢活动降低^[59]. 这表明, 网络成瘾青少年认知控制能力存在缺陷.

神经影像学的形态测量研究发现, 与同样花费大量时间玩游戏的游戏专家相比, 网络成瘾者左扣带和左丘脑的灰质密度降低, 其中, 左扣带与调节成瘾行为和集中注意关系密切, 而丘脑与注意和执行功能的警觉关系密切^[60]. 由于该实验属于非实验设计, 因而, 网络成瘾者和网络游戏专家之间大脑灰质密度的差异, 反映的究竟是专家大脑的优势, 还是成瘾者大脑结构的损害, 或是其他混淆变量造成的这些差异, 是很难归因的. 弥散张量成像研究发现, 与健康青少年相比, 网络成瘾青少年左侧大脑的某些白质纤维束(包括胼胝体、外囊、内囊、辐射冠、扣带等区域)出现损伤, 这些脑区主要负责大脑的执行功能^[61]. 由此可以推测, 网络成瘾青少年大脑的执行功能受损, 但却依旧无法得出网络成瘾和脑区受损间的因果关系.

5 网络成瘾与药物成瘾在奖赏寻求和认知控制方面的共性和差异

网络成瘾者与药物成瘾者在奖赏系统和认知控制系统方面同样存在缺陷, 这决定了两者之间存在共同点. 首先, 通过问卷调查发现, 相比于健康者, 网络成瘾者和药物成瘾者在冲动性和感觉寻求项目上的得分更高^[4, 31], 网络成瘾者沉迷于上网的快感使得无药物作用下的上网行为失控^[15], 药物成瘾者也很难抵制饮酒或者吸食药物的诱惑. 这表明, 网络成瘾者和药物成瘾者相似, 均过分寻求网络或致瘾药物带来的快感, 难以控制自己的成瘾行为. 其次, 在延迟折扣任务中, 网络成瘾者和药物成瘾者的延迟折扣率都高于控制组, 均为了立刻获得即时小奖赏而放弃未来的大奖赏^[21, 62]. 再次, 神经成像的研究支持网络成瘾和药物成瘾共享神经元回路. 研究发现, 网络成瘾者由游戏线索激活的脑区, 包括眶额叶皮层、背外侧前额叶皮层、前扣带回、伏隔核, 与药物成瘾者由药物线索激活的脑区相同^[23]. 一些成瘾治疗发现, 纳曲酮作为一种鸦片

类受体的拮抗剂,能够治疗酒精和鸦片成瘾,在临床上也能治疗网络成瘾^[63]、病理性赌博^[64-65]等行为成瘾。这表明, μ -阿片受体能够通过中脑边缘多巴胺能通路在治疗行为成瘾和药物成瘾中发挥相似的作用。

网络成瘾与药物成瘾不同,必然在奖赏寻求和认知控制的神经机制方面存在一定差异,这体现了网络成瘾自身的独特性。首先,网络成瘾在奖赏寻求和认知控制方面的缺陷没有受到任何药物摄入的影响,是一种最为纯粹的精神成瘾,而药物成瘾在奖赏寻求和认知控制方面的缺陷受到药物摄入的影响,是一种精神和药物因素混合的成瘾。其次,通过问卷调查发现,损失规避维度上,相比于健康者,网络成瘾者的得分更高^[49]或者没有差异^[23, 66],而药物成瘾者在奖赏维度上损失规避测量的得分更低^[66]。这表明,网络成瘾者的负性奖赏系统没有受损,而药物成瘾者负性奖赏系统规避损失的能力更差。再次,神经成像的研究发现,网络成瘾者在奖赏风险评估任务中没有缺陷^[23],而药物成瘾者在奖赏风险评估任务中的成绩更差^[67]。这表明,网络成瘾者能够注意到潜在的损失,而药物成瘾者只关注即刻的奖赏而没有注意到潜在的损失。

6 存在的问题与展望

a. 需要制定科学的网络成瘾筛查和入组标准。到目前为止,以往研究使用的网络成瘾筛查和入组标准各式各样,很难达到统一,即使形成了一些标准化的网络成瘾诊断标准,如Young^[15]的《互联网成瘾诊断标准》、陶然等^[68]的《网络成瘾临床诊断标准》等,但这些标准的内容存在一些差异,而且这些标准只能够诊断入组的个体符合其网络成瘾的标准,没有考虑到入组的个体有可能是药物成瘾者或者是具有抑郁等精神问题的个体。这需要今后的研究者注意吸收以往标准的科学成分,并加以系统总结,同时要在与药物成瘾、情绪障碍等比较研究中,逐步精确把握网络成瘾入组标准的特殊性,力求使网络成瘾筛查和入组标准更加科学。

b. 需要细化网络成瘾的亚型。综合以往行为和神经机制研究可以看出,网络成瘾行为可能与大脑奖赏系统^[47-48]的缺陷、认知控制系统的缺陷^[69],或者奖赏系统和认知控制系统发育不平衡的缺陷^[59]有关。按照大脑不同的系统缺陷,网络成瘾者可进一步划分为三类亚型:奖赏控制系统缺陷者、认知系统缺陷者、奖赏系统和认知控制共同缺陷者。在

开展网络成瘾相关的各类预防和治疗方案时,应针对不同的网络成瘾亚型,有针对性地进行干预。

c. 需要加强网络成瘾神经机制的因果性研究。当前网络成瘾的研究大多集中在网络成瘾者和控制组的对比研究中。尽管研究表明,与健康者相比,网络成瘾者奖赏和认知控制系统在大脑的功能和结构上都发生了改变^[26, 48],但是,究竟是网络成瘾导致了大脑的变化,还是大脑的变化导致了网络成瘾行为,至今尚无确切的结论。采用纵向追踪研究,包括在真实游戏场景中对人们的网络成瘾行为进行预测和追踪,以及对戒除网瘾者复瘾的追踪研究等,都是今后值得探索且更加有效地揭示网络成瘾心理和神经机制的因果研究。

d. 需要证实网络成瘾干预和治疗的有效性和必要性。根据大脑发育的神经生物模型^[16],网络成瘾问题似乎是大脑发育过程中的产物。换言之,随着个体大脑发育的成熟,网络成瘾行为将可能会不治自愈。这一推论对一些脑成像^[54]和ERP研究^[58]中药物或行为疗法的有效性提出了质疑,使得网瘾行为的消退到底是干预的结果还是个体成长的结果存在争议。如何消除质疑和争论,找到预测网瘾的科学统一指标;如何更加科学地评估治疗的效果,是未来值得思考和探索的问题。

e. 需要创新网络成瘾的研究范式。从研究范式看,目前研究网络成瘾奖赏和认知控制的范式大多是一些经典范式,如研究奖赏的简单赌博任务(simple decision task)、研究认知控制的抑制控制任务(go/no-go task)等。这些范式仅是针对一般的奖赏评估和认知控制而言的,因而是否能敏感地捕捉网络成瘾在奖赏和认知控制方面的特异性还值得商榷。尽管也有一些研究采用网络游戏相关的线索反应(cue-reactivity)范式,但仅仅观看一些网络游戏相关的图片与在网络游戏中身临其境的搏杀,其感受是有天壤之别的,这种范式很难敏感捕捉网络成瘾个体沉溺网络时的真实状态。同时,网络只是一种媒介,网络成瘾者本质上并不是如大多范式研究的那样,把网络成瘾归因于网络本身。事实上,一些潜在的人格特质或问题行为等可能是导致网络成瘾的内在原因。因此,在揭示网络致瘾的神经机制时,还应探寻网瘾“心病”的“心药”。

参 考 文 献

- [1] Goldberg K, Mascha M, Gentner S, *et al.* Desktop teleoperation via the world wide web//IEEE. Robotics and Automation, Nagoya: IEEE, 1995: 654-659

- [2] Young K S. Internet addiction: the emergence of a new clinical disorder [On-line]. Center for On-Line Addictions, Bradford, USA, 1996. <http://online.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/cpb.1998.1.237>
- [3] Kwon J H, Chung C S, Lee J. The effects of escape from self and interpersonal relationship on the pathological use of internet games. *Community Mental Health Journal*, 2011, **47**(1): 113–121
- [4] Kuss D, Griffiths M. Internet gaming addiction: a systematic review of empirical research. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 2012, **10**(2): 278–296
- [5] Richard A D, Gordon L F, Avi B. Validation of a new scale for measuring problematic internet use: implications for pre-employment screening. *CyberPsychology & Behavior*, 2002, **5**(4): 331–345
- [6] American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-IV)*. Washington DC: American Psychiatric Association, 1994
- [7] Jović J, Đinđić N. Influence of dopaminergic system on internet addiction. *Acta Medica Medianae*, 2011, **50**(1): 60–66
- [8] Kuss D J, Griffiths M D. Internet and gaming addiction: a systematic literature review of neuroimaging studies. *Brain Sciences*, 2012, **2**(3): 347–374
- [9] China Internet Network Information Center. 25th Statistical Survey Report on the Internet Development in China. 2010. <http://www.chinaneews.com/special/2010/01-15/tongji.shtml>
- [10] Beutel M E, Brähler E, Glaesmer H, *et al.* Regular and problematic leisure-time Internet use in the community: results from a German population-based survey. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 2011, **14**(5): 291–296
- [11] Zhou Y, Lin F, Du Y, *et al.* Gray matter abnormalities in internet addiction: a voxel-based morphometry study. *European Journal of Radiology*, 2011, **79**(1): 92–95
- [12] Adalier A, Balkan E. The relationship between internet addiction and psychological symptoms. *International Journal of Global Education*, 2012, **1**(2): 42–49
- [13] American Psychiatric Association. *DSM-5 Development: Internet use disorder*. 2012
- [14] Lam L T, Peng Z W. Effect of pathological use of the internet on adolescent mental health: a prospective study. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 2010, **164**(10): 901–906
- [15] Young K S. Internet addiction: the emergence of a new clinical disorder. *CyberPsychology & Behavior*, 1998, **1**(3): 237–244
- [16] Casey B, Jones R M, Hare T A. The adolescent brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2008, **1124**(1): 111–126
- [17] Galvan A, Hare T, Voss H, *et al.* Risk-taking and the adolescent brain: who is at risk?. *Developmental Science*, 2007, **10**(2): F8–F14
- [18] Galvan A, Hare T A, Parra C E, *et al.* Earlier development of the accumbens relative to orbitofrontal cortex might underlie risk-taking behavior in adolescents. *J Neurosci*, 2006, **26** (25): 6885–6892
- [19] Grace A A, Floresco S B, Goto Y, *et al.* Regulation of firing of dopaminergic neurons and control of goal-directed behaviors. *Trends in Neurosciences*, 2007, **30**(5): 220–227
- [20] Meerkerk G J, Van Den Eijnden R, Franken I, *et al.* Is compulsive internet use related to sensitivity to reward and punishment, and impulsivity?. *Computers in Human Behavior*, 2010, **26**(4): 729–735
- [21] Saville B K, Gisbert A, Kopp J, *et al.* Internet addiction and delay discounting in college students. *The Psychological Record*, 2011, **60**(2): 273–286
- [22] Young K S, Yue X D, Ying L. Prevalence estimates and etiologic models of internet addiction, in *Internet addiction: a handbook and guide to evaluation and treatment*. NJ US: John Wiley & Sons Inc, 2011: 3–17
- [23] Ko C H, Hsiao S, Liu G C, *et al.* The characteristics of decision making, potential to take risks, and personality of college students with Internet addiction. *Psychiatry Research*, 2010, **175**(1–2): 121–125
- [24] Li Q, Zhang Y, Shi M, *et al.* Can anonymity network increase the utilitarian in personal moral decision?//IEEE.Web Society (SWS), 2010. Beijing: IEEE, 2010
- [25] Thomas N J M F H. Video-arcade game, computer game and Internet activities of Australian students: participation habits and prevalence of addiction. *Australian Journal of Psychology*, 2010, **62**(2): 59–66
- [26] Zhou Z H, Yuan G Z, Yao J J, *et al.* An event-related potential investigation of deficient inhibitory control in individuals with pathological Internet use. *Acta Neuropsychiatrica*, 2010, **22** (5): 228–236
- [27] Shaw M, Black D W. Internet addiction: definition, assessment, epidemiology and clinical management. *CNS drugs*, 2008, **22**(5): 353–365
- [28] Cao F, Su L, Liu T, *et al.* The relationship between impulsivity and Internet addiction in a sample of Chinese adolescents. *European Psychiatry*, 2007, **22**(7): 466–471
- [29] Davis R A, Flett G L, Besser A. Validation of a new scale for measuring problematic internet use: implications for pre-employment screening. *CyberPsychology & Behavior*, 2002, **5**(4): 331–345
- [30] Beard K W, Wolf E M. Modification in the proposed diagnostic criteria for Internet addiction. *CyberPsychology & Behavior*, 2001, **4**(3): 377–383
- [31] Kim E J, Namkoong K, Ku T, *et al.* The relationship between online game addiction and aggression, self-control and narcissistic personality traits. *European Psychiatry*, 2008, **23**(3): 212–218
- [32] Yoo H J, Cho S C, Ha J Y, *et al.* Attention deficit hyperactivity symptoms and Internet addiction. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 2004, **58**(5): 487–494
- [33] Sakagami M, Pan X, Uttl B. Behavioral inhibition and prefrontal cortex in decision-making. *Neural Networks*, 2006, **19**(8): 1255–1265
- [34] Sun D-L, Chen Z-J, Ma N, *et al.* Decision-making and prepotent response inhibition functions in excessive Internet users. *CNS Spectrums*, 2009, **14**(2): 75–81
- [35] Joseph J E, Liu X, Jiang Y, *et al.* Neural correlates of emotional reactivity in sensation seeking. *Psychological Science*, 2009, **20**(2): 215–223

- [36] Montague P R, Hyman S E, Cohen J D. Computational roles for dopamine in behavioural control. *Nature*, 2004, **431**(7010): 760–767
- [37] Volkow N D, Wang G J, Telang F, *et al.* Profound decreases in dopamine release in striatum in detoxified alcoholics: possible orbitofrontal involvement. *Journal of Neuroscience*, 2007, **27**(46): 12700–12706
- [38] Liu X, Hairston J, Schrier M, *et al.* Common and distinct networks underlying reward valence and processing stages: a meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2011, **35**(5): 1219–1236
- [39] Jacobsen L K, Pugh K R, Constable R T, *et al.* Functional correlates of verbal memory deficits emerging during nicotine withdrawal in abstinent adolescent cannabis users. *Biological Psychiatry*, 2007, **61**(1): 31–40
- [40] Banich M T, Crowley T J, Thompson L L, *et al.* Brain activation during the Stroop task in adolescents with severe substance and conduct problems: a pilot study. *Drug and Alcohol Dependence*, 2007, **90**(2–3): 175–182
- [41] Nagel B J, Schweinsburg A D, Phan V, *et al.* Reduced hippocampal volume among adolescents with alcohol use disorders without psychiatric comorbidity. *Psychiatry Research*, 2005, **139**(3): 181–190
- [42] Grant J E, Potenza M N, Weinstein A, *et al.* Introduction to behavioral addictions. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 2010, **36**(5): 233–241
- [43] Haber S N, Knutson B. The reward circuit: Linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, 2010, **35**(1): 4–26
- [44] Hikosaka O, Bromberg-Martin E, Hong S, *et al.* New insights on the subcortical representation of reward. *Curr Opin Neurobiol*, 2008, **18**(2): 203–208
- [45] 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
- [46] Lee Y S, Han D H, Yang K C, *et al.* Depression like characteristics of 5HTTLPR polymorphism and temperament in excessive internet users. *J Affect Disord*, 2008, **109**(1–2): 165–169
- [47] Hou H, Jia S, Hu S, *et al.* Reduced striatal dopamine transporters in people with internet addiction disorder. *J Biomed Biotechnol*, 2012, **2012**(854524): 1–5
- [48] Yuan K, Qin W, Wang G, *et al.* Microstructure abnormalities in adolescents with internet addiction disorder. *PLoS One*, 2011, **6**(6): e20708
- [49] Koeppe M, Gunn R, Lawrence A, *et al.* Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 1998, **393**(6682): 266–267
- [50] Hoeft F, Watson C L, Kesler S R, *et al.* Gender differences in the mesocorticolimbic system during computer game-play. *J Psychiat Res*, 2008, **42**(4): 253–258
- [51] Han D H, Kim Y S, Lee Y S, *et al.* Changes in cue-induced, prefrontal cortex activity with video-game play. *CyberPsychology, Behavior & Social Networking*, 2010, **13**(6): 655–661
- [52] Dong G, Huang J, Du X. Enhanced reward sensitivity and decreased loss sensitivity in Internet addicts: an fMRI study during a guessing task. *J Psychiat Res*, 2011, **45**(11): 1525–1529
- [53] Liu J, Gao X, Osunde I, *et al.* Increased regional homogeneity in internet addiction disorder a resting state functional magnetic resonance imaging study. *Chin Med J*, 2010, **123**(14): 1904–1908
- [54] Han D H, Hwang J W, Renshaw P F. Bupropion sustained release treatment decreases craving for video games and cue-induced brain activity in patients with Internet video game addiction. *Exp Clin Psychopharm*, 2010, **18**(4): 297–304
- [55] Dong G H, Lu Q L, Zhou H, *et al.* Impulse inhibition in people with Internet addiction disorder: Electrophysiological evidence from a Go/NoGo study. *Neurosci Lett*, 2010, **485**(2): 138–142
- [56] Littel M, van den Berg I, Luijten M, *et al.* Error processing and response inhibition in excessive computer game players: an event-related potential study. *Addict Biol*, 2012, **17**(5): 934–947
- [57] Dong G, Zhou H, Zhao X. Male Internet addicts show impaired executive control ability: evidence from a color-word Stroop task. *Neurosci Lett*, 2011, **499**(2): 114–118
- [58] Ge L, Ge X, Xu Y, *et al.* P300 change and cognitive behavioral therapy in subjects with Internet addiction disorder: A 3-month follow-up study. *Neural Regeneration Research*, 2011, **6**(26): 2037–2041
- [59] Park H S, Kim S H, Bang S A, *et al.* Altered regional cerebral glucose metabolism in internet game overusers: a 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography study. *CNS Spectrums*, 2010, **15**(3): 159–166
- [60] Han D H, Lyoo I K, Renshaw P F. Differential regional gray matter volumes in patients with on-line game addiction and professional gamers. *J Psychiatric Res*, 2012, **46**(4): 507–515
- [61] Lin F, Zhou Y, Du Y, *et al.* Abnormal white matter integrity in adolescents with internet addiction disorder: a tract-based spatial statistics study. *PLoS One*, 2012, **7**(1): e30253
- [62] Mitchell S, Wilson V. Differences in delay discounting between smokers and nonsmokers remain when both rewards are delayed. *Psychopharmacology*, 2012, **219**(2): 549–562
- [63] Bostwick J M, Bucci J A. Internet sex addiction treated with naltrexone. *Mayo Clinic Proceedings*, 2008, **83**(2): 226–230
- [64] Grant J E, Desai R A, Potenza M N. Relationship of nicotine dependence, subsyndromal and pathological gambling, and other psychiatric disorders: data from the national epidemiologic survey on alcohol and related conditions. *J Clin Psychiat*, 2009, **70**(3): 334–343
- [65] Grant J E, Kim S W, Hartman B K. A double-blind, placebo-controlled study of the opiate antagonist naltrexone in the treatment of pathological gambling urges. *J Clin Psychiat*, 2008, **69**(5): 783–789
- [66] Tavares H, Gentil V. Pathological gambling and obsessive-compulsive disorder: towards a spectrum of disorders of volition. *Revista Brasileira de Psiquiatria*, 2007, **29**(2): 107–117
- [67] Bechara A. Risky business: emotion, decision-making, and

- addiction. *Journal of Gambling Studies*, 2003, **19**(1): 23–51
- [68] 陶然, 黄秀琴, 王吉因, 等. 网络成瘾临床诊断标准的制定. *解放军医学杂志*, 2008, **33**(10): 1188–1191
- Tao R, Huang X, Wang J, *et al.* *Medical Journal of Chinese People's Liberation Army*, 2008, **33**(10): 1188–1191
- [69] Dong G H, Zhou H, Zhao X. Male Internet addicts show impaired executive control ability: evidence from a color-word Stroop task. *Neurosci Lett*, 2011, **499**(2): 114–118

Neural Mechanisms of Reward Seeking Behavior and Cognitive Control in Individuals With Internet Addiction*

LI Qi¹⁾, QI Yue^{1,2)}, TIAN Mo-Qian^{1,2)}, ZHANG Kan¹⁾, LIU Xun^{1)**}

¹⁾ Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

²⁾ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Internet addiction (IA) as a behavioral addiction is currently becoming a serious mental health issue around the globe. According to the neurobiological model of brain development, exploring the neural mechanisms of reward seeking behavior and cognitive control in internet addicts may help in developing treatments for individuals with IA. Behavioral research has indicated that IA is commonly associated with enhanced reward sensitivity and decreased inhibitory control. Additionally, research focused on the neural mechanisms of IA indicates that deficits in the reward or cognitive control systems might be a high risk factor for addictive behaviors. Compared with substance addictions, IA, as a kind of psychological addiction, has a specific reward mechanism. While previous research has deepened the understanding of the psychological and neural mechanisms in IA, there still exist many issues surrounding diagnosis and treatment of IA: the screening criteria are not scientific; the classification is ambiguous; the effect of intervention and treatment is controversial; causal research is scarce; and research paradigms are flawed. Substantial future research is needed to explore, fully understand, and treat IA.

Key words internet addiction, adolescent, reward seeking, cognitive control, neural mechanism

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2014.00023

* This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (31200782, 31271194, 91124003), The Beijing Natural Science Foundation (7133250), The National Key Technologies R&D Program of China (2012BAI36B01) and The CAS/SAFEA International Partnership Program for Creative Research Team (Y2CX131003).

**Corresponding author.

Tel: 86-10-64847153, E-mail: liux@psych.ac.cn

Received: April 23, 2014 Accepted: May 23, 2014