

物质成瘾人群金钱奖赏加工的异常机制及可恢复性*

杨 玲 苏波波 张建勋 柳 斌 卫晓芸 赵 鑫

(西北师范大学心理学院, 行为康复训练研究中心, 兰州 730070)

摘 要 长期的成瘾物质使用造成奖赏系统的变化是成瘾过程发展和维持的关键, 这种病理性变化反过来会对奖赏系统的调节功能产生不利的影响, 引起认知表现和日常功能方面的障碍。近年来大量的功能性核磁共振成像研究表明物质成瘾人群的金钱奖赏加工相关的腹侧纹状体及其它奖赏脑区激活存在异常。而奖赏加工相关的纹状体激活可以作为治疗效果的预测器和临床恢复的指标; 这种奖赏加工异常可以通过戒断有所恢复。今后的研究需要进一步补充奖赏加工的事件相关电位研究, 研究物质成瘾人群奖赏加工的特异性, 并增加对家庭物质依赖个体的奖赏加工研究, 以及奖赏与执行功能的交互作用机制的研究。

关键词 物质成瘾; 金钱诱因; 奖赏加工; 奖赏环路

分类号 B845

1 引言

物质成瘾是指长期摄入某种药物或物质(例如阿片类药物、酒精、香烟)后, 产生的一种由冲动性使用逐渐转变为强迫性使用的慢性复吸障碍(Koob & Le Moal, 2005)。长期成瘾物质使用会导致个体包括奖赏系统在内的大脑结构和功能的持久改变, 这被认为是成瘾的基础(Blum et al., 2000; Koob & Volkow, 2010; Torregrossa, Corlett, & Taylor, 2011)。这一观点也受到一些重要神经生理学模型的支持(Koob & Le Moal, 1997, 2005, 2008; Noël, Brevers, & Bechara, 2013; Verdejo-Garcia & Bechara, 2009; Robinson & Berridge, 2000, 2001), 这些模型都突出了大脑奖赏系统的变化在成瘾中的核心作用。这种病理性变化反过来会对奖赏系统的调节功能产生不利的影响, 引起认知表现和日常功能方面的障碍。例如, 动物研究表明长期的成瘾物质使用会导致大脑的奖赏阈限提高(Kenny, Polis, Koob, & Markou, 2003; Nazzaro, Seeger, & Gardner, 1981), 人类研究表明毒品和毒品相关线索会显著增强物质成瘾个体的奖赏脑区激活

(Diekhof, Falkai, & Gruber, 2008), 表明了毒品对物质成瘾个体具有异常奖赏效应。

但是无论是条件性位置偏爱范式和自身给药 的动物模型研究, 还是毒品和毒品相关线索的人类研究, 都从毒品奖赏的角度探讨了物质成瘾的机制和毒品相关线索的诱因凸显性对成瘾行为的贡献。然而, 毒品奖赏具有直接或间接的药理效应, 所以毒品奖赏加工并不能代表个体的正常奖赏加工(Berns, McClure, Pagnoni, & Montague, 2001)。这也是近年来研究者开始关注物质成瘾者对毒品的异常奖赏效应是否会泛化到非毒品奖赏加工中的原因。非毒品奖赏加工对个体的持续成瘾物质使用(Balleine & O'Doherty, 2010)和戒断治疗行为(Rose et al., 2014; Wilson et al., 2014) 有重要作用。因此, 理解成瘾人群的非毒品奖赏加工机制也是开发干预策略的关键(Garavan & Weierstall, 2012; Rose et al., 2014; Wilson et al., 2014)。非毒品奖赏也就是自然奖赏, 分为初级奖赏(食物, 水和性等)和次级奖赏(如金钱, 权力等)。而对物质成瘾者非毒品奖赏加工的研究又以金钱诱因较为多见。这是因为虽然初级奖赏比次级奖赏更有“凸显性”(Metereau & Dreher, 2013), 但是初级奖赏与机体状态关系密切, 如饥、渴等, 因而不够稳定, 相比之下次级奖赏拥有相对更加稳定的价值(Lutz & Widmer, 2014)。而且金钱诱因相比其它诱因有

收稿日期: 2014-02-15

* 国家自然科学基金(31360233, 31300838)和教育部人文社会科学研究一般项目(13YJC190032)资助。

通讯作者: 赵鑫, E-mail: psyzhaoxin@nwnu.edu.cn

很多优点,金钱作为一种初级奖赏(包括毒品)的二级强化物更具有代表性,而且诱因特性也更容易操纵(Knutson & Greer, 2008)。随着认知神经科学技术的发展,以金钱为诱因的非毒品奖赏加工方面的研究逐渐增多(Beck et al., 2009; Bustamante et al., 2014; Filbey, Dunlop, & Myers, 2013; Jia et al., 2011),已成为成瘾研究领域中的一个很有价值的视角。

2 金钱奖赏加工的主要研究范式

奖赏加工可以分为两个阶段:预期阶段和满足阶段(Rademacher et al., 2010)。精确的预期并通过有效的行为获得奖赏以及对奖赏的敏感性是适应行为和学习的一个基本方面(Lubman et al., 2009)。目前金钱奖赏加工的主要研究范式有金钱诱因延迟任务(monetary incentive delay task, MIDT), 赌博任务和选择任务。下面对这些常见的范式做简要介绍。

最被广泛使用的是 MIDT 范式,最初是由 Knutson, Westdorp, Kaiser 和 Hommer (2000)介绍用于功能性核磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)中研究正常人对奖赏和惩罚的预期和结果反馈相关大脑活动的实验范式。MIDT 范式包括三种奖赏类型:无金钱结果(控制任务)、潜在奖赏(奖赏任务)、潜在惩罚(惩罚任务),三种类型为随机呈现。每种类型包括两种线索:20%的诱因线索和 80%的非诱因线索,线索刺激之后会呈现一个靶子刺激,被试需要对靶子刺激作出正确的按键反应,然后根据被试任务表现(反应时)给予一定的金钱获得、损失或者无金钱结果反馈。这一范式允许对不同奖赏条件下奖赏加工不同阶段的测量,如,奖赏预期、反应过程和结果反馈过程(Lutz & Widmer, 2014)。近几年来, MIDT 范式及其变式也被广泛应用于物质成瘾人群奖赏加工的研究中,如,可卡因(Bustamante et al., 2014; Jia et al., 2011; Patel et al., 2013),大麻(Filbey et al., 2013; Jager, Block, Luijten, & Ramsey, 2013; Nestor, Hester, & Garavan, 2010; van Hell et al., 2010; Yip et al., 2014),酒精(Beck et al., 2009; Bjork et al., 2008b; Wrase et al., 2007),尼古丁(Peters et al., 2011)。赌博任务和选择任务则形式多样,如,石头-纸-剪刀(Rock-paper-scissors)任务(Toyomaki & Murohashi, 2005)、单一结果赌博任务(Single

outcome gambling task, SOG) (Kamarajan et al., 2009)、卡片猜测任务(Card-guessing task) (Delgado, Nystrom, Fissell, Noll, & Fiez, 2000)等。这类实验任务比较相似:线索预示着即将到来的奖赏获得或损失,被试完全凭猜测反应,然后获得结果反馈。也就是说线索阶段被试并不知道这些任务中的奖赏可能性,因此无法预期奖赏的获得和损失,所以这些任务并不能考察被试奖赏加工的预期阶段。

总之,这些金钱奖赏加工范式存在以下三个方面的特征:首先,任务中线索预示着一个即将到来的金钱获得或损失;其次,奖赏取决于被试的表现(如反应时,按键次数)或者猜测后的随机反馈;第三,主要考察奖赏的效价(获得和损失)和奖赏加工的不同阶段(预期阶段和结果反馈阶段)。另外, Böhler 等人(2010)在对尼古丁成瘾者奖赏加工的研究中使用了一种工具性动机任务(Instrumental motivation task)。该任务类似于 MIDT,同样由三个阶段组成:线索预示奖赏的期望阶段、反应阶段和结果反馈阶段。不同的是该任务中奖赏是通过按键次数和相应线索的奖赏水平确定的。虽然该任务并没有考察奖赏加工的损失方面,任务也较为复杂。但是该任务通过操纵线索比较不同水平的金钱奖赏和毒品奖赏的加工特点,并且将获得奖赏的动机通过努力按键次数进行操纵,具有较好的外部效度。

3 物质成瘾人群金钱奖赏加工的神经机制

目前大量研究表明物质成瘾人群的金钱奖赏加工存在异常,并表现在大脑奖赏环路上(Beck et al., 2009; Bustamante et al., 2014; Jia et al., 2011)。人类 fMRI 的研究发现脑内奖赏系统主要有两条通路:从腹侧被盖区(ventral tegmental area, VTA)经内侧前脑束到伏核(nucleus accumbens, NAcc)的边缘通路;连接 VTA 和脑皮层(尤其是额叶)的脑皮层通路 (Chiew & Braver, 2011)。Haber 和 Knutson (2010)系统综述了人类的奖赏环路:一方面,腹侧纹状体(ventral striatum, VS)受到来自眶额皮层(orbital frontal cortex, OFC)、前扣带皮层(anterior cingulate cortex, ACC)和中脑的多巴胺投射;另一方面, VS 投射到腹侧苍白球(ventral pallidum)和 VTA/黑质体(substantia nigra),反过来又通过中间的丘脑背侧核投射回前额皮层(prefrontal cortex, PFC)。Sescousse, Caldu, Segura 和 Dreher (2013)

对人类成像研究的元分析发现奖赏加工的主要脑区有: VS、前脑岛、背中部丘脑、杏仁核、腹正中 PFC 扩展到上部 ACC, 其中双边 VS 和右前 OFC 是金钱奖赏加工的特异性脑结构。VS (包括 NAcc) 不仅是奖赏脑环路的一个关键节点 (Haber & Knutson, 2010; Knutson & Cooper, 2005), 还是在金钱奖赏预期阶段激活的特异性脑区 (Knutson & Greer, 2008)。VS 激活代表了一种实际和预期奖赏的偏差, 从而使个体更新对未来奖赏的预期, 并且会影响随后的行为 (Sescousse et al., 2013)。

一些物质成瘾人群的研究发现 MIDT 范式中在金钱奖赏预期阶段 VS (包括 NAcc) 的激活显著低于正常组。例如, 对酒精成瘾人群的研究发现, 脱毒酗酒者在金钱奖赏预期阶段 VS (包括 NAcc) 的活动显著降低 (Beck et al., 2009; Wrase et al., 2007), 而 OFC 和丘脑的活动则增强, 可能补偿了 VS 的功能失调。此外, 脱毒酗酒者在奖赏预期阶段的 VS 活动与酒精渴求感呈负相关, 而对于酒精相关线索的 VS 激活则显著增加 (Wrase et al., 2007)。另一项研究 (van Hell et al., 2010) 发现大麻依赖者与非吸烟健康控制组相比在金钱奖赏预期阶段 NAcc、尾状核、左侧壳核、左扣带回和一些额区的活动减弱, 颞中回、右楔状叶、右海马旁回的激活则增强; 在奖赏结果阶段右侧尾状核和壳核的激活增强。研究者认为这种在奖赏预期阶段奖赏脑区的活动减弱是由于长期大麻使用在分子机制上造成了大脑一些区域的多巴胺传递减弱, 这一结果支持了奖赏缺陷综合症假说 (Blum et al., 2000)。Peters 等人 (2011) 的研究发现吸烟青少年 (14 岁) 在奖赏预期阶段的 VS 和脑干活动显著小于不吸烟青少年, 并且这些大脑活动与尼古丁使用频率显著相关, 人格特质的新颖性寻求得分也显著高于对照组。然而这些吸烟青少年并没有成瘾, 研究者认为虽然不能确定这种在奖赏预期阶段 VS 活动的降低是预先存在的还是吸烟造成的, 但是可以表明这种 VS 活动的降低是未来发展为成瘾的一个关键因素。这些研究结果支持了诱因敏感理论的观点, 毒品使用会造成大脑奖赏系统的改变, 从而导致与非毒品线索相比毒品线索放大的诱因突显性 (Robinson & Berridge, 2000, 2001)。NAcc 的激活与奖赏的积极情绪唤醒有关 (Knutson & Greer, 2008), 所以这种 VS (包括 NAcc) 激活的降低表明物质成瘾者对奖赏预期不

敏感, 可能意味着物质成瘾人群会减少从事一些有利于健康的非物质使用活动, 增加了持续使用成瘾物质的可能性。

然而, 另外一些研究并没有发现 MIDT 范式中物质成瘾人群在金钱奖赏预期阶段的 VS 激活与正常组存在差异。例如, 有研究发现脱毒酒精依赖者只在奖赏结果阶段 NAcc、左前脑岛以及近中 PFC 的活动增强; 在损失结果阶段前脑岛和左前脑岛到外侧额叶皮层的活动增强 (Bjork et al., 2008b)。可卡因依赖者只在奖赏结果阶段双边 VS、右尾状核和右脑岛存在更大的激活 (Jia et al., 2011)。大麻依赖者在损失结果阶段 VS、尾状核的激活更大以及更小的壳核体积 (Yip et al., 2014)。还有研究发现可卡因依赖者在损失预期阶段杏仁核、海马旁回、VTA、ACC 的激活更少; 在损失期望阶段右脑岛的激活更少; 在损失结果阶段可卡因戒断组 (戒断至少 6 个月) 右海马的激活更少, 而与可卡因依赖者相比左 VTA 的激活更大; 奖赏预期阶段可卡因成瘾组右海马旁回的激活更少 (Patel et al., 2013)。这些研究虽然没有发现在奖赏预期阶段 VS 的激活异常, 但是在结果阶段却发现奖赏脑区的激活异常, 表明了物质成瘾者的奖赏功能受损还表现在奖赏结果反馈阶段。此外, Bühler 等人 (2010) 使用工具性动机任务比较了偶尔吸烟者和尼古丁依赖者在香烟奖赏和金钱奖赏期望的中脑皮质边缘 (mesocorticolimbic) 脑区激活的差异, 发现偶尔吸烟者对金钱奖赏的脑激活程度比香烟奖赏更强, 而尼古丁依赖者在两种奖赏类型中并没有显著差异; 并且偶尔吸烟者对金钱奖赏的脑激活程度比尼古丁依赖者的更强。这种脑激活模式与行为结果表现一致, 偶尔吸烟组花更多努力 (按键次数) 去获取金钱而非香烟, 而尼古丁依赖组则没有差异 (Bühler et al., 2010), 也表明尼古丁成瘾者的奖赏功能受损。

但是对大麻成瘾的研究却发现在 MIDT 范式中, 大麻成瘾者在奖赏预期阶段 VS 的激活显著强于正常组 (Filbey et al., 2013; Nestor et al., 2010), 而这种 VS 激活增强与大麻使用史及使用量呈正相关 (Nestor et al., 2010)。此外, 大麻成瘾者的左侧棱状回 (fusiform gyrus) 血氧活动显著降低, 并和大麻戒断症状呈负相关; 小脑蚓体山坡 (right declive of vermis) 在预期阶段的活动显著增强, 并和大麻使用史呈正相关, 这也许表明了慢性大麻

使用夸大了小脑对非毒品奖赏预测线索反应的目标指向活动;在损失结果阶段脑岛皮层的活动降低(Nestor et al., 2010)。研究还发现大麻成瘾者对金钱奖赏的加工有更大的 OFC 和扣带回激活,而正常组 OFC 的激活则相反(Filbey et al., 2013),也表明 PFC 一些脑区的奖赏功能受损。有研究者认为 NAcc 的激活还与投资、赌博等高风险行为有关(Knutson & Greer, 2008),所以这些结果表明大麻成瘾者对正性诱因(奖赏)敏感,对消极诱因(损失)不敏感,因此更容易从事高风险行为。另外,在奖赏预期阶段 VS 的激活增强只在大麻成瘾的研究中被发现,这可能是大麻成瘾不同于其他物质成瘾的一个表现。

综上所述,从这些 fMRI 研究结果可以看出物质成瘾人群的奖赏加工脑区受损,包括 VS (包括 NAcc)、PFC 的一些脑区、脑岛、海马、杏仁核等,但是目前仍然无法确定这些脑区的受损是预先存在的还是物质滥用造成的。另外,奖赏加工过程中的脑激活模式存在不一致的结果,尤其是在奖赏预期阶段 VS 的激活。除了可能存在不同物质成瘾人群奖赏加工的特异性之外,主要原因可能有以下几个方面:第一,预先存在的因素,如,家庭物质依赖史。父母物质滥用可能会造成子代奖赏加工异常 (Andrews et al., 2011),当以这类群体为被试时可能会影响研究结果的效度。第二,不同的成瘾阶段或物质使用年限。临床上偶尔有限制的毒品使用和缺乏控制的毒品使用以及慢性的强迫性毒品使用是有区别的(Koob & Le Moal, 2008; Koob & Volkow, 2010),处于不同的成瘾阶段或使用年限的个体之间的奖赏脑回路是否存在差异还不清楚。第三,研究方法的差异,脑激活模式的波动主要归结于实验范式的差异 (Sescousse et al., 2013),不排除这些不一致的结果是特定实验范式所造成的。另外,还有一些其它可能的原因:人口学变量上的差异,多种物质使用以及遗传和环境因素等。例如,有研究发现实验暂停时允许吸烟相比不允许吸烟的吸烟组,在卡片猜测任务中对金钱获得和损失反馈存在更小的尾状核激活 (Wilson, Sayette, Delgado, & Fiez, 2008),表明感知到的物质使用机会会影响吸烟者金钱奖赏加工相关的尾状核激活。这些因素可能是不同实验结果存在差异的原因,也是我们以后研究中需要考虑的因素。

4 物质成瘾人群金钱奖赏功能的可恢复性

大量研究证实了物质成瘾人群金钱奖赏加工受损并表现在大脑激活模式异常上(Beck et al., 2009; Bustamante et al., 2014; Filbey et al., 2013; Jia et al., 2011),这种奖赏功能受损反过来会进一步促进物质使用和复吸风险。那么这种奖赏加工异常与治疗结果存在什么样的关系,经过短期或者长期戒断是否能够恢复?

4.1 奖赏相关脑激活与治疗结果的关系

研究者还关注奖赏加工影响戒断治疗的脑机制。例如,对尼古丁依赖者的研究发现,在卡片猜测任务中金钱奖赏加工相关的 VS 活动越弱的个体,在随后的测试中越不愿意为了金钱奖赏而延迟吸烟,其他脑区并没有观察到这种结果(Wilson et al., 2014),表明这种个体更难戒烟。另一研究对是否自愿接受了持续至少 21 天戒断的大麻依赖者治疗前的脑激活进行了比较,发现在 MIDT 范式中不愿意接受治疗的大麻依赖组在损失结果阶段尾状核(caudate)的激活更大以及更小的壳核体积,而自愿接受并完成戒断的大麻依赖组与控制组没有显著差异(Yip et al., 2014),表明治疗前个体的纹状体功能的差异与对待戒断治疗的态度相关,是能否接受持续治疗的关键。可卡因的研究也发现纹状体激活和治疗结果存在相关(Brewer, Worhunsky, Carroll, Rounsaville, & Potenza, 2008)。有研究发现在 MIDT 范式中可卡因依赖者治疗前的奖赏加工相关脑活动与治疗结果存在相关,在预期阶段左右丘脑、右侧尾状核和喙峰(culmen)活动与可卡因尿检阴性的百分比存在负相关,而降低的左侧杏仁核和左侧海马旁回活动与较好的治疗保持相关;而在结果阶段右侧丘脑、右侧尾状核以及喙峰的活动与自我报告的戒断和尿检呈负相关(Jia et al., 2011),表明奖赏脑区变化是成瘾人群维持戒断的基础。另外有研究(Bustamante et al., 2014)发现在 MIDT 范式中长期戒断(平均 22 个月)可卡因依赖者在奖赏预期阶段,其背侧纹状体激活的增加是与治疗的持续时间相关的;而在结果阶段 VS 的活动和戒断时间存在负相关,这一结果和 Jia 等人(2011)的结果是一致的,增强的 VS 活动可能表明了一种对干预抵抗的神经机制(Jia et al., 2011),进一步表明奖赏加工相关纹状体功能和结构与治疗结果存在相关,也许可以作

为一种成瘾恢复的临床指标。上述研究表明金钱奖赏加工相关的纹状体(尤其是VS)激活是维持戒断治疗的关键, 可以作为物质成瘾人群良好戒断治疗效果的预测器和临床恢复的指标。未来可以通过纵向追踪研究进一步确定这种关系。

4.2 奖赏功能的可恢复性

一些研究者还关注这种奖赏加工异常是否能够通过戒断而得到恢复。例如, 对经过短期戒断(平均5周)的青少年大麻使用者(15~19岁)的研究发现, 除了在MIDT范式中的控制任务下预期阶段的纹状体激活更大之外, 并没有发现奖赏和惩罚任务下不同加工阶段存在大脑激活的异常(Jager et al., 2013), 虽然不能确定这种正常的奖赏加工是由于戒断造成的, 但至少表明戒断青少年大麻使用者金钱奖赏加工并没有受损。另一项研究发现在MIDT范式中中期戒断(平均22个月)的可卡因成瘾者只在奖赏预期阶段右侧尾状核的活动降低(Bustamante et al., 2014), 研究者认为VS活动在戒断开始时是增强的, 但随着戒断的持续会慢慢变得正常或者降低。另外, 有研究使用MIDT范式发现在损失预期阶段可卡因戒断组(戒断至少6个月)和可卡因依赖组在杏仁核、海马旁回、VTA的激活程度都小于控制组, 而可卡因依赖组ACC激活更少, 可卡因戒断组海马的激活更少; 在损失预期阶段, 可卡因依赖组右脑岛激活更少, 可卡因戒断组右脑岛、右布罗德曼区10(Brodman area10, BA10)、右海马旁回的激活更少, 可卡因戒断组与可卡因依赖组相比在右BA10的激活更少; 在损失结果阶段可卡因戒断组相比控制组在右海马的激活更少, 而与可卡因依赖组相比左VTA的激活更大; 在奖赏预期阶段可卡因戒断组和依赖组的大脑激活没有差异, 并且与控制组相比其右海马旁回的激活更少(Patel et al., 2013), 研究者认为长期戒断并不能使物质成瘾者大部分奖赏脑区的受损得到恢复。此外, 冲动性相关测量发现可卡因依赖组在自我报告的强迫性和奖赏惩罚敏感性得分上显著高于控制组, 可卡因戒断组在自我报告的冲动性上得分显著高于可卡因依赖组; 冲动性在损失预期阶段与杏仁核的激活呈正相关, 和前扣带回的激活呈负相关, 但是没有发现组间差异(Patel et al., 2013), 研究者认为成瘾人群这种冲动性和损失加工的关系和趋势也许是预先存在的。由上述研究可知, 物质成瘾人群

的奖赏加工异常会随着戒断时间的持续有所恢复, 但可能不会完全恢复。现有的相关研究还很少, 目前尚不能确定戒断后依然存在部分奖赏脑区的异常是由于物质滥用造成的不可逆的损伤还是预先就存在的异常。因此未来还需考虑被试吸毒持续年限和不同成瘾物质类型(杨玲, 张更生, 赵鑫, 2014)等因素, 对物质成瘾人群奖赏脑功能异常是否能够恢复进一步研究。

5 总结与展望

本文对近年来物质成瘾人群金钱奖赏加工研究进行了总结和分析, 从中可以看到物质成瘾人群金钱奖赏加工的研究逐渐增多, 研究方法也逐渐成熟, 同时研究视角也得到了扩展。但目前该领域的研究还存在一些有争议或尚待解决的问题, 例如, fMRI的结果并没有发现一致的奖赏脑区激活模式, 缺乏奖赏加工的脑电研究, 是否存在不同物质成瘾人群奖赏加工的特异性也不清楚, 而且单一的考察物质成瘾人群的奖赏加工, 缺少对与其它认知功能的交互作用机制的研究。这些都需要未来进一步研究。

5.1 增加金钱奖赏加工的ERP研究

事件相关电位(event related potentials, ERP)直接反映了与一定心理活动(事件)相关联的脑电位变化, 具有实时性的优点, 能够弥补fMRI技术时间分辨率较差的缺点。对奖赏加工的ERP研究发现, P300波幅对更大的金钱数量敏感(Goldstein et al., 2006; Hajcak, Holroyd, Moser, & Simons, 2005; Yeung & Sanfey, 2004); 另外, 金钱赌博任务中P300不仅对金钱数量还对结果效价敏感(Wu & Zhou, 2009)。目前对物质成瘾人群奖赏加工的ERP研究还相对较少。有研究发现在金钱奖赏任务中正常组被试对有无金钱条件的P300波幅和反应时都出现显著差异(45¢ > 0¢), 但是可卡因依赖者并没有发现这种差异(Goldstein et al., 2008)。这一结果得到了另一研究的证实(Parvaz et al., 2012), 研究者使用同样的金钱奖赏任务发现可卡因依赖组对不同的金钱奖赏不存在P300的差异, 控制组则相反(45¢ = 1¢ > 0¢); 另外, 尿检阴性的可卡因依赖者与尿检阳性的可卡因依赖者和正常组相比P300波幅和正确率最低, 表明虽然可卡因使用会造成个体金钱奖赏敏感性降低, 但是却能避免或补偿认知或情绪异常。此外, Kamarajan等人

(2010)用单一结果赌博(SOG)任务考察了男性酗酒者对奖赏结果加工的脑电位变化,发现在损失条件下降低的结果相关负波(ORN/N2)波幅以及所有金钱结果条件下结果相关正波(ORP/P3)波幅显著低于控制组。以往研究发现该任务中 ORN 波幅对金钱奖赏的不同效价和数量是有差异的(Kamarajan et al., 2009)。所以研究者认为这种早期负成分 ORN 和晚期正成分 ORP 波幅的降低表明酗酒者对不同奖赏结果的早期检测和随后的奖赏结果效价和数量的敏感性降低(Kamarajan et al., 2010), 上述研究表明酒精和可卡因成瘾者对金钱奖赏结果的效价和数量不敏感,可能意味着物质成瘾人群存在不顾行为后果的风险。上述 ERP 研究只是考察了物质成瘾人群奖赏加工的结果阶段,目前还没有研究者考察奖赏加工的其他阶段。Broyd 等人(2012)首次将经典的 MIDT 范式用于正常人奖赏加工的 ERP 研究中,证实了 MIDT 范式是 ERP 研究的一种有效范式。未来可以进一步将 MIDT 范式运用在不同物质成瘾人群奖赏加工的 ERP 研究中,增加物质成瘾人群奖赏加工的 ERP 研究。

5.2 物质成瘾人群奖赏加工的特异性

不同成瘾物质对个体大脑神经系统的作用是不一样的,它们既具有共同特征,又具有各自的特异性。例如, van Hell 等人(2010)的研究发现大麻依赖组与吸烟组相比在奖赏预期阶段左颞中回的活动更大,在结果阶段大麻依赖组与吸烟和非吸烟组相比在壳核有显著更大的激活,表明这些脑区的变化仅仅是由于大麻使用造成的;而大麻依赖组和吸烟组与非吸烟组的比较都发现了 NAcc 在奖赏预期阶段的活动减弱,说明这一脑区的变化是不同成瘾物质作用造成损伤的共同脑区。此外,虽然不同奖赏具有共同的脑环路,但是不同奖赏也具有各自的特异性脑结构(Sescousse et al., 2013)。因此未来研究可以从以下两方面进一步扩展对物质成瘾人群奖赏加工的研究:一方面,比较不同成瘾人群奖赏加工的特异性脑机制;另一方面,比较同一成瘾人群对不同奖赏加工的特异性脑机制。

5.3 家庭物质依赖史个体的奖赏加工研究

物质成瘾人群奖赏加工异常是预先存在的还是物质使用造成的目前还没有定论,但是对家庭物质依赖史的非物质依赖健康被试的研究可能是一个比较理想的视角,这类被试是指父母双方

至少有一个在怀孕前是物质依赖者,而被试并非物质依赖的健康个体。有研究使用 MIDT 范式发现,有酒精家庭依赖史的青少年(12~16岁)与匹配控制组在 VS 等奖赏脑区的激活没有差异(Bjork et al., 2008a),这一结果也得到最近一项研究结果的支持(Müller et al., 2015),该研究对有酒精家庭依赖史的健康青少年(13~15岁)的研究也没有发现 VS 等奖赏脑区激活的差异。可能由于青少年奖赏加工脑区还未完全成熟(Geier, Terwilliger, Teslovich, Velanova, & Luna, 2010)。因此,有研究者使用调整后的 MIDT 范式对成年被试(平均 34岁)的研究发现,有酒精家庭依赖史的健康被试在预期阶段 VS、尾状核、脑岛、OFC 以及在损失结果阶段杏仁核的激活降低(Andrews et al., 2011)。另一项对有酒精家庭依赖史的成年被试(18~22岁)的研究也发现在金钱奖赏和损失阶段 VS 的激活降低,并且这种降低是与当前饮酒量、早期(12~14岁)外化行为问题正相关的(Yau et al., 2012)。以上研究表明有家族物质依赖史的个体金钱奖赏加工相关脑区激活的异常是遗传造成的结果,这种遗传特征只有在奖赏加工脑区成熟的成年个体上表现出来。因此,酒精成瘾人群奖赏加工异常除了可能来自于酒精滥用外还有可能是遗传造成的。此外,研究还发现冲动性得分上因素 2(自我报告的冲动性和奖赏/惩罚敏感性)是与期望阶段 VS 的血氧反应负相关的(Andrews et al., 2011),表明冲动性和奖赏敏感性是与酒精成瘾易损性相关的。因此对家庭物质依赖史健康个体的研究是未来研究的一个方向,对于揭示成瘾易损性的神经机制有重要的意义。

5.4 奖赏与执行功能的交互作用机制

执行功能(executive functions)涉及三个最基本的功能:心理定势或任务转换(Shifting between tasks or mental sets),工作记忆表征的刷新和监控(updating and monitoring of working memory representations),优势反应抑制(Inhibition of prepotent responses)(Miyake et al., 2000)。双重竞争模型(Pessoa, 2009)认为情绪和动机与执行控制的交互作用决定了行为结果,情绪和动机会影响感知和执行水平的竞争,其中动机对执行功能的影响是通过两种途径:其一,提升的动机通过影响注意的定向和再定向导致执行功能的增强;其二,为了最大化奖赏,动机能再分配执行功能的

加工资源,如,奖赏导致 stop-signal 任务中个体的抑制能力降低(Padmala & Pessoa, 2010)。成瘾发展的过程涉及奖赏与执行功能等神经环路的变化(Koob & Volkow, 2010)。奖赏加工与执行功能存在复杂的交互作用,成瘾的反应抑制和凸显性归因受损(impaired response inhibition and salience attribution, I-RISA)模型强调了 PFC 在毒品和非毒品奖赏效应以及高阶执行功能(包括抑制控制)中的重要作用,认为成瘾是一种 PFC 功能受损导致的 I-RISA 综合症,表现为毒品和毒品相关线索的突显性增加,非毒品奖赏敏感性和抑制不利行为能力的降低(Goldstein & Volkow, 2002, 2011),从而导致毒品寻求行为(Lubman, Yucel, & Pantelis, 2004)。有研究对可卡因依赖者使用针对改善执行功能的象棋游戏和针对改变行为动机的动机性访谈相结合的干预方案,发现与无干预戒断组相比一个月的干预戒断显著改善了干预组的工作记忆功能(Gonçalves et al., 2014)。因此,对物质成瘾人群的奖赏与执行功能交互作用的研究具有重要意义。对可卡因成瘾的研究发现,对不同金钱数量的主观敏感性评价中可卡因依赖组有超过一半被试对\$10和\$1000的主观评价是等价的(Goldstein et al., 2007b)。并且可卡因依赖者对不同数量金钱奖赏加工相关脑区的激活降低,只在左侧小脑发现对有无金钱奖赏敏感,其他脑区并没有发现不同金钱条件下的激活差异;而正常组左侧 OFC 对不同奖赏条件的激活存在一种金钱梯度趋势差异($45\text{¢} > 1\text{¢} > 0\text{¢}$),背侧和中间 PFC 的激活只在有无奖赏上有差异($45\text{¢} = 1\text{¢} > 0\text{¢}$),中脑(mesencephalon)对最高的奖赏敏感($45\text{¢} > 1\text{¢} = 0\text{¢}$);此外, PFC 对金钱的敏感性与动机、自我控制特质相关 (Goldstein et al., 2007a)。表明 PFC 对金钱的不敏感会调节可卡因依赖者报告的降低的自我控制特质。另一项研究考察了可卡因戒断者金钱诱因对反应抑制的影响(Hester, Bell, Foxe, & Garavan, 2013),结果表明在金钱奖赏 GO/NOGO 任务中可卡因戒断者的抑制失败并不受金钱惩罚的影响,而这种异常反应与错误后 ACC、右脑岛、右 PFC 活动的显著降低相关,而正常组则相反,表明可卡因成瘾人群即使面对负性结果也无法增强抑制控制,而这些 PFC 脑区也是奖赏影响反应抑制的关键脑区。奖赏如何影响物质成瘾人群的执行功能以及它们相互作用的脑机制还不清楚,因此还需要进一步的

研究。

致谢: 感谢在论文撰写中审稿专家和编辑给予的宝贵意见以及新西兰奥克兰理工大学(AUT University)的 Grace Wang 博士提供的热情帮助!

参考文献

- 杨玲, 张更生, 赵鑫. (2014). 海洛因依赖者抑制控制功能的损伤机制及其可逆性. *心理科学进展*, 22, 439–447.
- Andrews, M. M., Meda, S. A., Thomas, A. D., Potenza, M. N., Krystal, J. H., Worhunsky, P., ... Pearson, G. D. (2011). Individuals family history positive for alcoholism show functional magnetic resonance imaging differences in reward sensitivity that are related to impulsivity factors. *Biological Psychiatry*, 69, 675–683.
- Balleine, B. W., & O'Doherty, J. P. (2010). Human and rodent homologues in action control: Corticostriatal determinants of goal-directed and habitual action. *Neuropsychopharmacology*, 35, 48–69.
- Beck, A., Schlagenhauf, F., Wüstenberg, T., Hein, J., Kienast, T., Kahnt, T., ... Wrase, J. (2009). Ventral striatal activation during reward anticipation correlates with impulsivity in alcoholics. *Biological Psychiatry*, 66, 734–742.
- Berns, G. S., McClure, S. M., Pagnoni, G., & Montague, P. R. (2001). Predictability modulates human brain response to reward. *The Journal of Neuroscience*, 21, 2793–2798.
- Bjork, J. M., Knutson, B., & Hommer, D. W. (2008a). Incentive-elicited striatal activation in adolescent children of alcoholics. *Addiction*, 103, 1308–1319.
- Bjork, J. M., Smith, A. R., & Hommer, D. W. (2008b). Striatal sensitivity to reward deliveries and omissions in substance dependent patients. *Neuroimage*, 42, 1609–1621.
- Blum, K., Braverman, E. R., Holder, J. M., Lubar, J. F., Monastra, V. J., Miller, D., ... Comings, D. E. (2000). The reward deficiency syndrome: A biogenetic model for the diagnosis and treatment of impulsive, addictive and compulsive behaviors. *Journal of Psychoactive Drugs*, 32(Suppl. 1), 1–112.
- Brewer, J. A., Worhunsky, P. D., Carroll, K. M., Rounsaville, B. J., & Potenza, M. N. (2008). Pretreatment brain activation during stroop task is associated with outcomes in cocaine-dependent patients. *Biological Psychiatry*, 64, 998–1004.
- Broyd, S. J., Richards, H. J., Helps, S. K., Chronaki, G., Bamford, S., & Sonuga-Barke, E. J. S. (2012). An electrophysiological monetary incentive delay (e-MID) task: A way to decompose the different components of neural response to positive and negative monetary reinforcement. *Journal of Neuroscience Methods*, 209, 40–49.

- Bühler, M., Vollstädt-Klein, S., Kobiella, A., Budde, H., Reed, L. J., Braus, D. F.,... Smolka, M. N. (2010). Nicotine dependence is characterized by disordered reward processing in a network driving motivation. *Biological Psychiatry*, 67, 745–752.
- Bustamante, J. -C., Barrós-Loscertales, A., Costumero, V., Fuentes-Claramonte, P., Rosell-Negre, P., Ventura-Campos, N.,... Ávila, C. (2014). Abstinence duration modulates striatal functioning during monetary reward processing in cocaine patients. *Addiction Biology*, 19, 885–894.
- Chiew, K. S., & Braver, T. S. (2011). Positive affect versus reward: Emotional and motivational influences on cognitive control. *Frontiers in Psychology*, 2, 279, doi: 10.3389/fpsyg.2011.00279
- Delgado, M. R., Nystrom, L. E., Fissell, C., Noll, D. C., & Fiez, J. A. (2000). Tracking the hemodynamic responses to reward and punishment in the striatum. *Journal of Neurophysiology*, 84, 3072–3077.
- Diekhof, E. K., Falkai, P., & Gruber, O. (2008). Functional neuroimaging of reward processing and decision-making: A review of aberrant motivational and affective processing in addiction and mood disorders. *Brain Research Reviews*, 59, 164–184.
- Filbey, F. M., Dunlop, J., & Myers, U. S. (2013). Neural effects of positive and negative incentives during marijuana withdrawal. *PLoS One*, 8(5), e61470.
- Garavan, H., & Weierstall, K. (2012). The neurobiology of reward and cognitive control systems and their role in incentivizing health behavior. *Preventive Medicine*, 55, S17–S23.
- Geier, C. F., Terwilliger, R., Teslovich, T., Velanova, K., & Luna, B. (2010). Immaturities in reward processing and its influence on inhibitory control in adolescence. *Cerebral Cortex*, 20, 1613–1629.
- Goldstein, R. Z., Alia-Klein, N., Tomasi, D., Zhang, L., Cottone, L. A., Maloney, T.,... Volkow, N. D. (2007a). Is decreased prefrontal cortical sensitivity to monetary reward associated with impaired motivation and self-control in cocaine addiction?. *The American Journal of Psychiatry*, 164, 43–51.
- Goldstein, R. Z., Cottone, L. A., Jia, Z. R., Maloney, T., Volkow, N. D., & Squires, N. K. (2006). The effect of graded monetary reward on cognitive event-related potentials and behavior in young healthy adults. *International Journal of Psychophysiology*, 62, 272–279.
- Goldstein, R. Z., Parvaz, M. A., Maloney, T., Alia-Klein, N., Woicik, P. A., Telang, F.,... Volkow, N. D. (2008). Compromised sensitivity to monetary reward in current cocaine users: An ERP study. *Psychophysiology*, 45, 705–713.
- Goldstein, R. Z., Tomasi, D., Alia-Klein, N., Cottone, L. A., Zhang, L., Telang, F., & Volkow, N. D. (2007b). Subjective sensitivity to monetary gradients is associated with frontolimbic activation to reward in cocaine abusers. *Drug and Alcohol Dependence*, 87, 233–240.
- Goldstein, R. Z., & Volkow, N. D. (2002). Drug addiction and its underlying neurobiological basis: Neuroimaging evidence for the involvement of the frontal cortex. *American Journal of Psychiatry*, 159, 1642–1652.
- Goldstein, R. Z., & Volkow, N. D. (2011). Dysfunction of the prefrontal cortex in addiction: Neuroimaging findings and clinical implications. *Nature Reviews Neuroscience*, 12, 652–669.
- Gonçalves, P. D., Ometto, M., Bechara, A., Malbergier, A., Amaral, R., Nicastrí, S.,... Cunha, P. J. (2014). Motivational Interviewing combined with chess accelerates improvement in executive functions in cocaine dependent patients: A one-month prospective study. *Drug and Alcohol Dependence*, 141, 79–84.
- Haber, S. N., & Knutson, B. (2010). The reward circuit: Linking primate anatomy and human imaging. *Neuropsychopharmacology*, 35, 4–26.
- Hajcak, G., Holroyd, C. B., Moser, J. S., & Simons, R. F. (2005). Brain potentials associated with expected and unexpected good and bad outcomes. *Psychophysiology*, 42, 161–170.
- Hester, R., Bell, R. P., Foxe, J. J., & Garavan, H. (2013). The influence of monetary punishment on cognitive control in abstinent cocaine-users. *Drug and Alcohol Dependence*, 133, 86–93.
- Jager, G., Block, R. I., Luijten, M., & Ramsey, N. F. (2013). Tentative evidence for striatal hyperactivity in adolescent cannabis-using boys: A cross-sectional multicenter fMRI study. *Journal of Psychoactive Drugs*, 45, 156–167.
- Jia, Z. R., Worhunsky, P. D., Carroll, K. M., Rounsaville, B. J., Stevens, M. C., Pearlson, G. D., & Potenza, M. N. (2011). An initial study of neural responses to monetary incentives as related to treatment outcome in cocaine dependence. *Biological Psychiatry*, 70, 553–560.
- Kamarajan, C., Porjesz, B., Rangaswamy, M., Tang, Y. Q., Chorlian, D. B., Padmanabhapillai, A.,... Begleiter, H. (2009). Brain signatures of monetary loss and gain: Outcome-related potentials in a single outcome gambling task. *Behavioural Brain Research*, 197, 62–76.
- Kamarajan, C., Rangaswamy, M., Tang, Y. Q., Chorlian, D. B., Pandey, A. K., Roopesh, B. N.,... Porjesz, B. (2010). Dysfunctional reward processing in male alcoholics: An ERP study during a gambling task. *Journal of Psychiatric Research*, 44, 576–590.
- Kenny, P. J., Polis, I., Koob, G. F., & Markou, A. (2003). Low dose cocaine self-administration transiently increases

- but high dose cocaine persistently decreases brain reward function in rats. *European Journal of Neuroscience*, 17, 191–195.
- Knutson, B., & Cooper, J. C. (2005). Functional magnetic resonance imaging of reward prediction. *Current Opinion in Neurology*, 18, 411–417.
- Knutson, B., & Greer, S. M. (2008). Anticipatory affect: Neural correlates and consequences for choice. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 3771–3786.
- Knutson, B., Westdorp, A., Kaiser, E., & Hommer, D. (2000). FMRI visualization of brain activity during a monetary incentive delay task. *NeuroImage*, 12, 20–27.
- Koob, G. F., & Le Moal, M. (1997). Drug abuse: Hedonic homeostatic dysregulation. *Science*, 278, 52–58.
- Koob, G. F., & Le Moal, M. (2005). Plasticity of reward neurocircuitry and the 'dark side' of drug addiction. *Nature Neuroscience*, 8, 1442–1444.
- Koob, G. F., & Le Moal, M. (2008). Addiction and the brain antireward system. *Annual Review of Psychology*, 59, 29–53.
- Koob, G. F., & Volkow, N. D. (2010). Neurocircuitry of addiction. *Neuropsychopharmacology*, 35, 217–238.
- Lubman, D. I., Yücel, M., & Pantelis, C. (2004). Addiction, a condition of compulsive behaviour? Neuroimaging and neuropsychological evidence of inhibitory dysregulation. *Addiction*, 99, 1491–1502.
- Lubman, D. I., Yücel, M., Kettle, J. W., Scaffidi, A., MacKenzie, T., Simmons, J. G., & Allen, N. B. (2009). Responsiveness to drug cues and natural rewards in opiate addiction: Associations with later heroin use. *Archives of General Psychiatry*, 66, 205–212.
- Lutz, K., & Widmer, M. (2014). What can the monetary incentive delay task tell us about the neural processing of reward and punishment?. *Neuroscience & Neuroeconomics*, 3, 33–45.
- Metereau, E., & Dreher, J. -C. (2013). Cerebral correlates of salient prediction error for different rewards and punishments. *Cerebral Cortex*, 23, 477–487.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Müller, K. U., Gan, G., Banaschewski, T., Barker, G. J., Bokde, A. L. W., Büchel, C.,... Smolka, M. N. (2015). No differences in ventral striatum responsivity between adolescents with a positive family history of alcoholism and controls. *Addiction Biology*, 20, 534–545, doi: 10.1111/adb.12136
- Nazzaro, J. M., Seeger, T. F., & Gardner, E. L. (1981). Morphine differentially affects ventral tegmental and substantia nigra brain reward thresholds. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 14, 325–331.
- Nestor, L., Hester, R., & Garavan, H. (2010). Increased ventral striatal BOLD activity during non-drug reward anticipation in cannabis users. *NeuroImage*, 49, 1133–1143.
- Noël, X., Brevers, D., & Bechara, A. (2013). A neurocognitive approach to understanding the neurobiology of addiction. *Current Opinion in Neurobiology*, 23, 632–638.
- Padmala, S., & Pessoa, L. (2010). Interactions between cognition and motivation during response inhibition. *Neuropsychologia*, 48, 558–565.
- Patel, K. T., Stevens, M. C., Meda, S. A., Muska, C., Thomas, A. D., Potenza, M. N., & Pearson, G. D. (2013). Robust changes in reward circuitry during reward loss in current and former cocaine users during performance of a monetary incentive delay task. *Biological Psychiatry*, 74, 529–537.
- Parvaz, M. A., Maloney, T., Moeller, S. J., Woicik, P. A., Alia-Klein, N., Telang, F.,... Goldstein, R. Z. (2012). Sensitivity to monetary reward is most severely compromised in recently abstaining cocaine addicted individuals: A cross-sectional ERP study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 203, 75–82.
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control?. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 160–166.
- Peters, J., Bromberg, U., Schneider, S., Brassen, S., Menz, M., Banaschewski, T.,... Büchel, C. (2011). Lower ventral striatal activation during reward anticipation in adolescent smokers. *American Journal of Psychiatry*, 168, 540–549.
- Rademacher, L., Krach, S., Kohls, G., Irmak, A., Gründer, G., & Spreckelmeyer, K. N. (2010). Dissociation of neural networks for anticipation and consumption of monetary and social rewards. *NeuroImage*, 49, 3276–3285.
- Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (2000). The psychology and neurobiology of addiction: An incentive-sensitization view. *Addiction*, 95(8s2), 91–117.
- Robinson, T. E., & Berridge, K. C. (2001). Incentive-sensitization and addiction. *Addiction*, 96(1), 103–114.
- Rose, E. J., Salmeron, B. J., Ross, T. J., Waltz, J., Schweitzer, J. B., McClure, S. M., & Stein, E. A. (2014). Temporal difference error prediction signal dysregulation in cocaine dependence. *Neuropsychopharmacology*, 39, 1732–1742.
- Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B., & Dreher, J. -C. (2013). Processing of primary and secondary rewards: A quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37, 681–696.
- Torregrossa, M. M., Corlett, P. R., & Taylor, J. R. (2011).

- Aberrant learning and memory in addiction. *Neurobiology of Learning and Memory*, 96, 609–623.
- Toyomaki, A., & Murohashi, H. (2005). The ERPs to feedback indicating monetary loss and gain on the game of modified “rock-paper-scissors”. *International Congress Series*, 1278, 381–384.
- van Hell, H. H., Vink, M., Ossewaarde, L., Jager, G., Kahn, R. S., & Ramsey, N. F. (2010). Chronic effects of cannabis use on the human reward system: An fMRI study. *European Neuropsychopharmacology*, 20, 153–163.
- Verdejo-García, A., & Bechara, A. (2009). A somatic marker theory of addiction. *Neuropharmacology*, 56(Suppl. 1), 48–62.
- Wilson, S. J., Delgado, M. R., McKee, S. A., Grigson, P. S., MacLean, R. R., Nichols, T. T., & Henry, S. L. (2014). Weak ventral striatal responses to monetary outcomes predict an unwillingness to resist cigarette smoking. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 14, 1196–1207.
- Wilson, S. J., Sayette, M. A., Delgado, M. R., & Fiez, J. A. (2008). Effect of smoking opportunity on responses to monetary gain and loss in the caudate nucleus. *Journal of Abnormal Psychology*, 117, 428–434.
- Wrase, J., Schlagenhauf, F., Kienast, T., Wüstenberg, T., Bermpohl, F., Kahnt, T.,... Heinz, A. (2007). Dysfunction of reward processing correlates with alcohol craving in detoxified alcoholics. *NeuroImage*, 35, 787–794.
- Wu, Y., & Zhou, X. L. (2009). The P300 and reward valence, magnitude, and expectancy in outcome evaluation. *Brain Research*, 1286, 114–122.
- Yau, W. Y. W., Zubieta, J. -K., Weiland, B. J., Samudra, P. G., Zucker, R. A., & Heitzeg, M. M. (2012). Nucleus accumbens response to incentive stimuli anticipation in children of alcoholics: Relationships with precursive behavioral risk and lifetime alcohol use. *The Journal of Neuroscience*, 32, 2544–2551.
- Yeung, N., & Sanfey, A. G. (2004). Independent coding of reward magnitude and valence in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 24, 6258–6264.
- Yip, S. W., DeVito, E. E., Kober, H., Worhunsky, P. D., Carroll, K. M., & Potenza, M. N. (2014). Pretreatment measures of brain structure and reward-processing brain function in cannabis dependence: An exploratory study of relationships with abstinence during behavioral treatment. *Drug and Alcohol Dependence*, 140, 33–41.

Dysfunction of Monetary Reward Processing and Recoverability in Drug Addicts

YANG Ling; SU Bobo; ZHANG Jianxun; LIU Bin; WEI Xiaoyun; ZHAO Xin

(Behavior Rehabilitation Training Research Institution, School of Psychology, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The changes of brain reward system caused by chronic substance use are considered central to the development and maintenance of addiction, and those pathological changes adversely affect regulation of reward system, inducing deficits in cognitive performance and daily function. In recent years, numerous fMRI studies have suggested that there are progressive changes in the ventral striatum and reward circuitry related to monetary reward processing in people with history of substance abuse, and the change of reward-related activation of the striatum can be used as a predictor of treatment outcome, indicating the degree of functional recovery. It has been shown that drug-induced dysfunction in the reward processing system can be recovered to some degree following abstinence. Further research in this area should address the specificity of reward processing associated with substance use, and investigate reward processing of individuals with family history of substance dependent and the effects of monetary reward on executive function, using event related potentials (ERPs).

Key words: substance addiction; monetary incentives; reward processing; reward circuitry