

精神分裂症患者基于努力的奖赏决策功能异常

邵雨心¹, 杨道良², 陈玄玄², 刘帅^{1,2}, 李欣凌¹, 严超^{1,2}

(1.上海市脑功能基因组重点实验室[华东师范大学], 脑功能基因组教育部重点实验室[华东师范大学], 华东师范大学附属精神卫生中心, 上海 200062; 2.上海市长宁区精神卫生中心, 上海 200335)

【摘要】 动机缺失是精神分裂症阴性症状的核心表现之一, 对患者的社会功能造成了严重影响。近十年来, 越来越多的研究开始探究精神分裂症患者的动机缺失症状与基于努力的奖赏决策功能之间的联系。本综述将从躯体努力和认知努力两个层面, 对过去精神分裂症基于努力的奖赏决策损伤研究进行整理和归纳。综述内容主要包含基于努力的奖赏决策的理论框架与测量手段; 以往临床研究在精神分裂症群体中的主要发现以及未来研究展望。大多数证据较为一致地表明精神分裂症患者在追求特定的目标奖赏时的代价-收益分析功能可能存在损伤。这在一定程度上为精神分裂症的社会退缩现象的解释给出了可能的方向, 同时为精神分裂症患者动机缺失症状的评估和治疗提供了新的视角。

【关键词】 精神分裂症; 基于努力的奖赏决策; 躯体努力; 认知努力

中图分类号: R395.1

DOI: 10.16128/j.cnki.1005-3611.2021.05.007

Dysfunctional Effort-based Reward Decision Making in Schizophrenia

SHAO Yu-xin¹, YANG Dao-liang², CHEN Xuan-xuan², LIU Shuai^{1,2}, LI Xin-ling¹, YAN Chao^{1,2}

¹Shanghai Key Laboratory of Brain Functional Genomics(ECNU), Key Laboratory of Brain Functional Genomics of Ministry of Education(ECNU), Mental Health Center Affiliated to East China Normal University, Shanghai 200062, China; ²Shanghai Changning Mental Health Center, Shanghai 200335, China

【Abstract】 Amotivation is one of key elements of negative symptoms in schizophrenia, which has serious impact on the patient's social functioning. Recent studies have suggested that the symptoms of amotivation in schizophrenia may be associated with abnormalities in their effort-based reward decision-making. The present review aimed to summarize the findings in previous studies on effort-based reward decision-making impairment in schizophrenia in terms of both the physical effort and cognitive effort. Specifically, we first summarized the theoretical framework as well as assessments for effort-based decision making. Next, major findings for schizophrenia patients in previous studies were also carefully reviewed. Finally, the future research directions were discussed. It reached a consensus that, the cost-benefit analysis function of patients with schizophrenia may be impaired in pursuit of specific target rewards. To some extent, this provides a possible direction for the explanation of social withdrawal in schizophrenia and a new perspective for the evaluation and treatment of motivational deficit in schizophrenia.

【Key words】 Schizophrenia; Effort-based reward decision making; Physical effort; Cognitive effort

阴性症状是精神分裂症的核心症状之一, 严重影响患者的社会功能。虽然阴性症状带来的功能损伤已经得到充分认识, 但其背后的机制在很大程度上仍然不够明确, 这也阻碍了精神分裂症阴性症状的有效治疗^[1]。根据最新的理论模型, 阴性症状主要可分为两类: 语言和非语言交流的表达减少(如面部表情或声调改变减少) 以及动机缺失(如意志力减退、缺乏认知努力、缺乏社交努力)^[2]。本综述重点关注动机缺失症状, 即自发的、自觉的目标导向行为的减少^[3]。厘清

动机缺失背后的心理病理与神经机制, 有助于阴性症状的精准评估, 也能进一步推动有效干预手段的开发^[4]。基于努力的奖赏决策缺损被认为是动机缺失症状可能的心理病理机制之一。本综述将围绕基于努力的奖赏决策理论概念和测量手段, 以及在精神分裂症中的研究发现和未来研究方向展望等几个方面进行详细论述。

1 基于努力的奖赏决策

采用量表评定法评估精神分裂症(schizophrenia, SCZ)患者的动机缺失症状主要依赖于患者在回忆的基础上向评估者报告自身近期的经历和情绪体验, 评估者的熟练度和经验水平会影响到症状评估的准确性, 而量表评定法方法学上的局限使得研究者很难进一步对症状背后的心理病理机制问题做出解释。因此研究者开发了相对客观的实验室测量手段(例如, 基于努力的奖赏决策任务范式)来揭示动机缺失症状背后的原因^[5-9]。

【基金项目】 本项目受教育部人文社科青年项目基金(青少年抑郁症的早期识别研究: 奖赏期待的作用, 项目编号 20YJC190025), 国家自然科学基金青年项目(精神分裂症的社会性期待愉快情绪与代价付出计算: 行为与脑功能成像研究(31500894); 长期压力皮质酮升高对腹侧被盖区多巴胺神经元的作用机制(31800856), 上海市卫健委项目(“rTMS 合并 MECT 对抑郁症疗效和工作记忆影响的机制研究”, 201940491)支持。

通讯作者: 严超, cyan@psy.ecnu.edu.cn

基于努力的奖赏决策(Effort-based reward decision-making)涉及个体估计获得积极结果所需的工作量而进行的心理计算过程^[4,10],包含两个重要的认知过程,一是价值计算(value computation),指计算奖赏或期望结果的价值量,二是努力计算(effort computation),指计算需要付出多少努力或工作量才能得到奖赏或期望结果。这两个部分的认知过程共同协作加工(代价-收益分析过程)使个体形成付出努力获得奖赏回报的意愿(动机),并影响了个体目标导向行为的产生^[11]。价值计算既针对奖赏本身的积极/受益程度,也包含对机体内部状态的感知程度(比如,在口渴或不口渴时一杯饮料的价值是不同的)。眶额皮层被描述为“价值的工作记忆”区,参与到维持、更新和整合不同价值信息的加工过程中^[12,13]。努力计算涉及到背侧前扣带回皮层、伏隔核的功能活动及前脑回路中多巴胺递质的分泌^[14]。而背外侧前额叶皮层则将价值计算与努力计算进行整合,也就是经过代价-收益分析后,促进目标导向行动计划的产生和执行^[15]。现有的研究中,努力计算存在于两种载体:躯体努力(physical effort)和认知努力(cognitive effort),本综述将逐一介绍这两类范式。

1.1 基于躯体努力的奖赏决策范式

目前基于躯体努力的决策包含两大类范式:非渐进努力范式与渐进式努力范式。在非渐进努力范式中,研究者通过操纵金钱奖赏的额度和概率,观察受试者在高强度努力和低强度努力任务中做出的选择。最为常见的范式是“努力支出奖赏任务”(Effort-Expenditure for Rewards Task, EEfRT)。该任务利用快速不断按键的方式引发“躯体努力”。受试者需要在按键次数少且金钱奖赏低的条件与按键次数多且金钱奖赏高的条件之间做出选择,而后只有在规定时间内完成相应的按键次数才能按概率(12%/50%/88%)获得该轮奖励^[16]。第二个范式是努力成本计算任务(Effort-Cost Computation Task),属于EEfRT的一个变式。区别在于完成的形式,EEfRT通过按键逐渐填充条形柱,而该任务要求受试者按键给气球充气使之爆炸^[8]。第三个范式是基于努力的愉快体验任务(Effort-based Pleasure Experience Task, E-pet)。此范式中躯体努力付出的形式发生变化,受试者需要通过外接设备——握力器的力量大小来实现目标:简单任务要求使出更少的握力来获取较小的奖赏,而困难任务要求使出更多的握力来获取较大的奖赏。在任务的执行阶段,受试者需要握住握力器把手,对握力器施加压力后在屏幕上即可看到条形柱对应地被逐步填充,不断施加握力直到红色填充物一次性通过了目标水平,才算通过任务^[17]。

另一类是渐进式努力范式,这类范式同时操纵金钱奖赏额度大小和努力水平,观察分别在不同金额水平下随着努力需求的增加,受试者选择努力的中断点(为了获得一定价值的奖励而付出的最大努力),中断点越高表明愿意付出努力的意愿越大。常见的范式有努力折扣任务(Effort Discounting Task, EDT),受试者需要在高强度努力(最大握力的40%, 60%, 80%, 100%)与低强度努力(不需要握力)之间做出选择,选择前者将获得较高的奖赏,选择后者将获得较低的奖赏^[18]。另一个类似的任务称为比率递进任务(Progressive Ratio Task, PRT),该任务只有固定奖赏条件,躯体努力水平逐渐增

加(例如,使气球爆炸以获得奖赏的按键次数),直到受试者不再愿意为固定奖赏付出更多的努力,以此测量中断点^[19]。

1.2 基于认知努力的奖赏决策范式

基于认知努力决策制定的范式同样也分为两类:非渐进努力范式与渐进式努力范式。非渐进努力范式有卡牌选择任务(Deck Choice Effort Task),与躯体努力范式类似,该任务设置两类选项,高认知努力-高金钱奖赏与低认知努力-低金钱奖赏,受试者在这两个选项中进行选择。低认知努力只需判断数字大小单一的认知活动,而高认知努力需在判断数字大小以及数字奇偶这两个认知活动之间相互切换^[20]。

渐进式努力范式包括认知努力折扣任务(Cognitive effort discounting, COG-ED)和比率递进任务(Progressive Ratio Task, PRT)。前者通过N-back任务来引发认知努力,受试者若选择简单任务,则需复述一串字母中所圈出字母的前一位字母(1-back),且这一轮及之后的奖励皆低于上一轮的奖励;若选择困难任务,则复述所圈字母之前第N位字母(2, 3, 4, 5或6-back),且这一轮及之后获得的奖励皆高于上一轮奖励,第六轮选择过后的奖励额度即为中断点^[21]。而在比率递进任务中,受试者需要在两个数字中识别出较大的数字,该任务逐渐增加难度(即为了获得固定奖赏所要求正确回答的题目数量),直到受试者不再愿意为固定奖赏付出更多的认知努力,以此视为认知努力的中断点^[9]。

2 精神分裂症患者基于努力的奖赏决策异常

不论以何种努力的形式(躯体或者认知)进行付出,健康群体愿意为了更高的奖赏付出更多的努力:在非渐进努力范式中,随着奖赏概率或额度的增加,健康个体选择高努力任务的比例也会显著增加^[16,20];在渐进努力范式中,随着奖励水平的增大,中断点也会提升^[9,22]。意味着他们愿意为了更多的金钱奖赏付出更多的躯体努力或认知努力。但使用同样的方法,精神分裂症患者群体基于努力的奖赏决策存在异常。

自2013年起,国内外大约有17项研究招募了414名临床精神分裂症患者与244名健康对照,采用躯体努力形式,探究患者基于努力的奖赏决策。在非渐进努力范式的临床研究中,研究者们使用了EEfRT范式、努力成本计算任务以及E-pet范式,都一致发现精神分裂症慢性患者为高奖赏付出高努力的意愿减退,表现为选择高努力任务的比例显著低于健康对照,这表明患者基于努力的奖赏决策功能出现异常^[5-8,17,23,24]。在渐进努力范式的临床研究中,Hartmann和他的同事进行了一项研究,他们采用努力折扣范式,招募了31位患者和20位健康群体,发现在低奖赏额度下,患者的中断点更低,意味着他们更不愿意付出努力^[1]。而且这些结果在首发精神分裂症患者中也得到了验证,首发精神分裂症患者也表现出为高奖赏付出高努力的意愿减退^[6]。综合这些研究结果,我们推测:和健康对照相比,精神分裂症患者付出躯体努力的意愿程度减退。这一异常表现与疾病病程并没有很强的关联,这说明基于努力的奖赏决策损伤是相对稳定的,可能是精神分裂症阴性症状的潜在标记物。

对于精神分裂症高危群体在基于努力的奖赏决策方面的研究,因数量非常有限,只是部分支持了为高奖赏付出高

努力的意愿减退这一现象。社会快感缺失(social anhedonia),是指从社交活动中体验快乐的能力降低^[25],在精神分裂症患者和他们的家庭成员身上表现得尤为突出^[26,27],并且随着时间的推移表现得更为持久^[28]。社会快感缺失群体被认为是精神分裂症谱系障碍的一个重要指标,过去大量研究都通过筛选这个群体作为精神分裂症谱系障碍的潜在风险群体^[29-33]。因此,在本综述中,我们将社会快感缺失群体作为精神分裂症的高危群体进行了相关研究的检索与归纳。Julie和她同事招募了30位社会快感缺失特质群体和30位健康对照,发现社会快感缺失特质群体在面对高奖赏时,选择高强度努力任务的比例与对照组相比,没有显著差异。有趣的是,他们在最不确定的奖赏概率(即50%)并且面对低奖赏额度时,相对对照组表现出更强努力付出意愿,这可能反映了他们低效的努力分配模式^[34]。在另一项研究中,Wang和她的同事招募了28个社会快感缺失特质群体和26位健康对照,他们使用了E-pet研究范式,结果发现在低奖赏额度以及50%、88%概率下社会快感缺失特质群体选择高努力任务的比例是显著小于健康对照的^[35]。综合这些研究发现,基于努力的奖赏决策在精神分裂症患者群体中缺损的表现模式较为一致,然而在高危群体中则出现较强的异质性。这提示,基于努力的奖赏决策能力早在高危群体中可能就已经发生紊乱和异常,一直发展到临床障碍阶段才形成稳定一致的缺损模式。然而针对高危群体的研究数量非常有限,未来的关注点需要更多地聚焦于这个群体。找到这个能力开始转化的拐点以及背后的影响因素,将有助于精神分裂症动机减退症状的早期识别与预防。

此外,大部分临床研究都发现基于努力的奖赏决策的任务表现和精神分裂症患者阴性症状之间有一定的联系^[1,5,7,19,23,24]。过去有两项研究,专门将精神分裂症患者依据其阴性症状的严重程度分为两组(严重组vs.轻微组),发现阴性症状严重的患者在高奖赏条件下付出努力的意愿低于轻微阴性症状的患者^[6,8]。但是在高危群体中的两项研究对社会快感缺失症状程度和付出努力意愿的相关的发现并不一致^[34,35]。这些研究的结果初步说明了精神分裂症临床患者在基于躯体努力的决策上的异常和动机缺失症状有内在联系。

以认知努力为主体的研究也有类似的发现:即和健康对照相比,精神分裂症患者并不愿意付出更大的认知努力(例如,比较数字的大小或奇偶)来获得更多的金钱奖赏^[9,20,21],阴性症状严重程度与该功能的缺损有显著相关^[9,21]。

以上从躯体努力和认知努力出发的基于努力的奖赏决策研究,考察了受试者对奖赏的价值计算以及为获得奖赏所需付出的努力计算,进而产生付出努力的意愿(动机)并做出决策的过程,大部分研究都发现了患者在基于努力的奖赏决策中行为表现异常,并且这一异常表现与阴性症状的严重程度有关。因此患者获取奖赏回报的意愿程度降低,其背后的心理病理机制或许可以从价值计算和努力计算两个角度去加以解释。

此外,过去已经有少量研究开始探讨价值计算和努力计算背后的神经机制。Huang和他的同事使用EEfRT范式在fMRI研究中对23位患者和23位健康对照执行躯体努力时

的大脑活动进行了探究,发现与对照组相比,患者在中(50%)和高(80%)概率获得奖赏条件下付出努力的意愿较低,并且患者的伏隔核、后扣带回皮层和左侧额叶内侧回皮层的神经活动较弱,且不随奖赏的大小和概率的增加而线性增强。同时该研究还发现在中等(50%)概率获得高额度奖赏的情况下,健康对照的伏隔核活动与付出高水平努力意愿呈正相关,而在患者中则无显著相关^[36]。这表明,精神分裂症患者的伏隔核和后扣带回功能障碍可能与他们的基于努力的奖赏决策异常有关。另一项探究精神分裂症群体认知努力付出表现的fMRI研究,采用COG-ED范式,招募了28位精神分裂症患者和30位健康对照,发现阴性症状更严重的患者表现出更低的付出认知努力的意愿,并且,阴性症状的严重程度和双腹侧纹状体活动的减弱有显著相关^[37]。类似的,尽管Wolf等人没有直接探讨基于努力的奖赏决策的神经活动的组间差异,但他们发现,腹侧纹状体和背外侧前额叶皮层的激活水平与精神分裂症患者增强努力行为的意愿呈正相关^[9]。综上所述,过去的研究发现,尽管还没有成体系,但是基本验证了基于努力的奖赏决策模型中对努力计算以及努力行为意愿背后神经机制的假设。精神分裂症努力计算过程可能与他们受损的扣带回皮层功能有关,付出努力的意愿可能与背外侧前额叶的功能降低有关。

3 未来研究展望

研究发现男性患者的阴性症状更为严重,社会功能和预后情况更差。Galderisi等人招募了276名精神分裂症患者,发现男性在动机缺失等阴性症状方面得分更高^[38];Chaves等人对69名精神分裂症患者进行了调查,发现在社会适应能力上,男性的表现比女性更差^[39]。一项研究招募了40名精神分裂症患者和26名健康对照,测试他们对奖赏的敏感性,发现精神分裂症患者在计算奖赏的价值时,整合信息的能力较差,这可能影响了在决策中使用这些信息的能力^[40]。考虑到性别对精神分裂症患者动机缺失的严重程度、社会适应能力、价值计算等认知功能方面存在的影响,我们推测性别也有可能对基于努力的奖赏决策造成影响。然而,过去对此的探讨比较有限,目前只有一项研究对此问题进行讨论。Fervaha等人探讨了性别对平均年龄为40周岁的97名精神分裂症患者选择高努力任务的影响,尽管研究结果并没有支持我们的假设^[41],然而要厘清这个问题还需要更多的研究从多个角度进行探索。

精神分裂症的阴性症状分为原发性和继发性两种,原发性阴性症状是由疾病本身引发的,继发性阴性症状是由药物副作用、社会剥夺或药物滥用引起的^[42]。研究表明抗精神病药物是通过作用于多巴胺D2受体来缓解疾病症状的^[43]。尽管目前一些研究发现氯丙嗪换算剂量对患者的努力付出表现没有显著影响^[5,9,44],但这并不能排除抗精神病药物影响实验结果的可能性。也许服药引发了阴性症状或服药导致多巴胺分泌改变进而改变了患者的动机水平,混淆了目前研究的结果。未来可以针对未服药的精神分裂症患者进行研究,这将有助于针对性地研究原发性精神分裂症阴性症状背后的机理,并且在一定程度上排除抗精神疾病药物对患者基于

努力的奖赏决策行为的影响。

最后是强化刺激种类,目前的研究大多将金钱奖赏作为强化刺激,利用躯体和认知两个层面的努力付出进行探测。然而有研究表明,与处理奖赏价值有关的神经机制在初级强化物与次级强化物之间可能是部分独立的。Sescousse 等人对 87 项使用不同类型奖赏的研究(1452 名受试者)进行了元分析,发现金钱、性刺激和食物奖赏强有力地激活了一个共同的大脑网络,包括腹内侧前额叶皮层、腹侧纹状体、杏仁核、前脑岛和内侧丘脑,但峰值神经活动的强度和位置有所不同:对金钱奖励(即次级强化物)的反应在眶额皮层的最前部被进一步观察到,相比之下,食物奖励和性刺激(即初级强化物)在脑岛的前部表现得更为强烈,其中性刺激在杏仁核中引起了特别强烈的反应^[45]。这表明金钱奖赏和其他维度的奖赏不能简单的混为一谈。并且考虑到奖赏本身对受试者的意义,金钱奖赏对精神分裂症患者没有足够的吸引力。未来的研究可以将食物或性刺激这一类初级强化物作为奖赏,考察精神分裂症患者在基于努力的奖赏决策中的表现。

同时,厘清基于努力的奖赏决策背后的神经机制也有助于我们更好地明确动机缺失等阴性症状背后的神经机制。而目前致力于基于努力的奖赏决策的脑成像研究相对有限,参考已有的研究结果,未来的研究不只需要关注精神分裂症患者的额叶皮层、扣带皮层和腹侧纹状体的局部神经功能活动是否异常,还可以借助广泛性心理生理相互作用分析(Generalized Psychophysiological Interaction, gPPI)、动态因果模型、拓扑结构网络属性等方法或指标进一步探究这些脑区功能网络之间的连接是否存在异常。

当然,值得注意的是,基于努力的奖赏决策功能异常并不是精神分裂症所独有的功能异常,在其他的精神障碍中,如抑郁症、分裂情感性精神障碍、双相情感障碍,同样表现出基于努力的奖赏决策功能损伤^[46-48]。因此,未来的研究可以从跨病种的角度去探讨基于努力的奖赏决策功能,以理解不同精神障碍之间的共病机制。

参 考 文 献

- Hartmann MN, Hager OM, Reimann AV, et al. Apathy But Not Diminished Expression in Schizophrenia Is Associated With Discounting of Monetary Rewards by Physical Effort. *Schizophrenia Bulletin*, 2014, 41(2): 503-512
- Blanchard JJ, Cohen AS. The Structure of Negative Symptoms Within Schizophrenia: Implications for Assessment. *Schizophrenia Bulletin*, 2006, 32(2): 238-245
- Trémeau F, Nolan KA, Malaspina D, et al. Behavioral validation of avolition in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 2012, 138(2-3): 255-261
- Green MF, Horan WP, Barch DM, et al. Effort-Based Decision Making: A Novel Approach for Assessing Motivation in Schizophrenia. *Schizophr Bull*, 2015, 41(5): 1035-1044
- Fervaha G, Graff-Guerrero A, Zakzanis KK, et al. Incentive motivation deficits in schizophrenia reflect effort computation impairments during cost-benefit decision-making. *Journal of Psychiatric Research*, 2013, 47(11): 1590-1596
- Chang WC, Chu AOK, Treadway MT, et al. Effort-based decision-making impairment in patients with clinically-stabilized first-episode psychosis and its relationship with amotivation and psychosocial functioning. *European Neuropsychopharmacology*, 2019, 29(5): 629-642
- Treadway MT, Peterman JS, Zald DH, et al. Impaired effort allocation in patients with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 2015, 161(2): 382-385
- Gold JM, Strauss GP, Waltz JA, et al. Negative Symptoms of Schizophrenia Are Associated with Abnormal Effort-Cost Computations. *Biological Psychiatry*, 2013, 74(2): 130-136
- Wolf DH, Satterthwaite TD, Kantrowitz JJ, et al. Amotivation in Schizophrenia: Integrated Assessment With Behavioral, Clinical, and Imaging Measures. *Schizophrenia Bulletin*, 2014, 40(6): 1328-1337
- Gold JM, Waltz JA, Frank MJ. Effort Cost Computation in Schizophrenia: A Commentary on the Recent Literature. *Biological Psychiatry*, 2015, 78(11): 747-753
- Kring AM, Barch DM. The motivation and pleasure dimension of negative symptoms: Neural substrates and behavioral outputs. *European Neuropsychopharmacology*, 2014, 24(5): 725-736
- Padoa-Schioppa C, Cai X. The orbitofrontal cortex and the computation of subjective value: Consolidated concepts and new perspectives. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2011, 1239(1): 130-137
- Wallis DJ. Orbitofrontal Cortex and Its Contribution to Decision-Making. *Annual Review of Neuroscience*, 2007, 30(1): 31-56
- Salamone JD, Correa M, Farrar A, et al. Effort-related functions of nucleus accumbens dopamine and associated fore-brain circuits. *Psychopharmacology*, 2007, 191(3): 461-482
- Manes F, Sahakian B, Clark L, et al. Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, 2002, 125(3): 624-639
- Treadway MT, Buckholtz JW, Schwartzman AN, et al. Worth the 'EEfRT'? The Effort Expenditure for Rewards Task as an Objective Measure of Motivation and Anhedonia. *Plos One*, 2009, 4(8): e6598
- Wang J, Huang J, Yang X-h, et al. Anhedonia in schizophrenia: Deficits in both motivation and hedonic capacity. *Schizophrenia Research*, 2015, 168(1): 465-474
- Hartmann MN, Hager OM, Tobler PN, et al. Parabolic discounting of monetary rewards by physical effort. *Behavioural Processes*, 2013, 100: 192-196
- Strauss GP, Whearty KM, Morra LF, et al. Avolition in schizophrenia is associated with reduced willingness to expend effort for reward on a Progressive Ratio task. *Schizophrenia Research*, 2016, 170(1): 198-204
- Reddy LF, Horan WP, Barch DM, et al. Effort-Based Decision-Making Paradigms for Clinical Trials in Schizo-

- phrenia: Part 1—Psychometric Characteristics of 5 Paradigms. *Schizophrenia Bulletin*, 2015, 41(5): 1045–1054
- 21 Culbreth A, Westbrook A, Barch D. Negative symptoms are associated with an increased subjective cost of cognitive effort. *J Abnorm Psychol*, 2016, 125(4): 528–536
 - 22 Chelonis JJ, Gravelin CR, Paule MG. Assessing motivation in children using a progressive ratio task. *Behavioural Processes*, 2011, 87(2): 203–209
 - 23 McCarthy JM, Treadway MT, Bennett ME, et al. Inefficient Effort Allocation and Negative Symptoms in Individuals with Schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 2015, 170(2): 278–284
 - 24 Barch DM, Treadway MT, Schoen N. Effort, Anhedonia, and Function in Schizophrenia: Reduced Effort Allocation Predicts Amotivation and Functional Impairment. *J Abnorm Psychol*, 2014, 123(2): 387–397
 - 25 Andreasen NC. Negative symptoms in schizophrenia. Definition and reliability. *Archives of General Psychiatry*, 1982, 39(7): 784–788
 - 26 Horan WP, Blanchard JJ, Clark LA, et al. Affective traits in schizophrenia and schizotypy. *Schizophrenia Bulletin*, 2008, 34(5): 856–874
 - 27 Gooding DC, Tallent KA, Matts CW. Clinical Status of At-Risk Individuals 5 Years Later: Further Validation of the Psychometric High-Risk Strategy. *Journal of Abnormal Psychology*, 2005, 114(1): 170–175
 - 28 Blanchard JJ, Horan WP, Brown SA. Diagnostic differences in social anhedonia: a longitudinal study of schizophrenia and major depressive disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 2001, 110(3): 363–371
 - 29 Kwapil TR, Gross GM, Silvia PJ, et al. Prediction of psychopathology and functional impairment by positive and negative schizotypy in the Chapmans' ten-year longitudinal study. *Journal of Abnormal Psychology*, 2013, 122(3): 807–815
 - 30 Ettinger U, Mohr C, Gooding DC, et al. Cognition and brain function in schizotypy: a selective review. *Schizophrenia Bulletin*, 2015, 41(Suppl 2): S417–S426
 - 31 Wang Y, Liu W-h, Li Z, et al. Dimensional schizotypy and social cognition: An fMRI imaging study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2015, 9: 133
 - 32 Kwapil TR. Social anhedonia as a predictor of the development of schizophrenia-spectrum disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 1998, 107(4): 558–565
 - 33 Wang Y, Lui SSY, Zou L-q, et al. Individuals with psychometric schizotypy show similar social but not physical anhedonia to patients with schizophrenia. *Psychiatry Research*, 2014, 216(2): 161–167
 - 34 McCarthy JM, Treadway MT, Blanchard JJ. Motivation and effort in individuals with social anhedonia. *Schizophrenia Research*, 2015, 165(1): 70–75
 - 35 Wang J, Huang J, Lui SSY, et al. Motivation deficits in individuals with social anhedonia. *Psychiatry Research*, 2018, 261(527–534)
 - 36 Huang J, Yang X-h, Lan Y, et al. Neural substrates of the impaired effort expenditure decision making in schizophrenia. *Neuropsychology*, 2016, 30(6): 685–696
 - 37 Culbreth AJ, Moran EK, Kandala S, et al. Effort, avolition, and motivational experience in schizophrenia: Analysis of behavioral and neuroimaging data with relationships to daily motivational experience. *Clinical Psychological Science*, 2020, 8(3): 555–568
 - 38 Galderisi S, Bucci P, Üçök A, et al. No gender differences in social outcome in patients suffering from schizophrenia. *European Psychiatry*, 2012, 27(6): 406–408
 - 39 Chaves AC, Seeman MV, Mari JJ, et al. Schizophrenia: Impact of positive symptoms on gender social role. *Schizophrenia Research*, 1993, 11(1): 41–45
 - 40 Heerey EA, Bell-Warren KR, Gold JM. Decision-Making Impairments in the Context of Intact Reward Sensitivity in Schizophrenia. *Biological Psychiatry*, 2008, 64(1): 62–69
 - 41 Fervaha G, Duncan M, Foussias G, et al. Effort-based decision making as an objective paradigm for the assessment of motivational deficits in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 2015, 168(1): 483–490
 - 42 Kirschner M, Aleman A, Kaiser S. Secondary negative symptoms — A review of mechanisms, assessment and treatment. *Schizophrenia Research*, 2017, 186: 29–38
 - 43 Howes OD, Kapur S. The dopamine hypothesis of schizophrenia: Version III—The final common pathway. *Schizophrenia Bulletin*, 2009, 35(3): 549–562
 - 44 Docx L, de la Asuncion J, Sabbe B, et al. Effort discounting and its association with negative symptoms in schizophrenia. *Cognitive Neuropsychiatry*, 2015, 20(2): 172–185
 - 45 Sescousse G, Caldú X, Segura B, et al. Processing of primary and secondary rewards: A quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2013, 37(4): 681–696
 - 46 Whitton AE, Merchant JT, Lewandowski KE. Dissociable mechanisms underpinning effort-cost decision-making across the psychosis spectrum. *Schizophrenia Research*, 2020, 224: 133–140
 - 47 Yang X-h, Huang J, Zhu C-y, et al. Motivational deficits in effort-based decision making in individuals with subsyndromal depression, first-episode and remitted depression patients. *Psychiatry Research*, 2014, 220(3): 874–882
 - 48 Treadway MT, Bossaller NA, Shelton RC, et al. Effort-based decision-making in major depressive disorder: A translational model of motivational anhedonia. *Journal of Abnormal Psychology*, 2012, 121(3): 553–558

(收稿日期:2020-09-11)