

# 基于刷新任务的工作记忆训练对改善情绪调节能力的效果及机制

许雪莲 赵琦 曾聪 曹建琴

150081 哈尔滨医科大学护理学院

通信作者: 曹建琴, Email: cj338@163.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2021.10.015

**【摘要】** 情绪调节与心理健康密不可分, 提高情绪调节能力将对个体产生有利影响。目前, 越来越多的证据表明, 基于刷新任务的工作记忆训练可以改善健康及精神疾病人群的情绪调节能力。现就不同人群中应用该训练的研究进行综述, 探讨其训练的效果及起效机制, 旨在为该训练在情绪调节领域中的应用与发展提供一定的见解。

**【关键词】** 工作记忆训练; 刷新任务; 情绪调节

**基金项目:** 黑龙江省自然科学基金项目(LH2020H030)

**Effect and mechanism of working memory training based on updating task on improving emotion regulation ability** Xu Xuelian, Zhao Qi, Zeng Cong, Cao Jianqin

School of Nursing, Harbin Medical University, Harbin 150081, China

Corresponding author: Cao Jianqin, Email: cj338@163.com

**【Abstract】** Emotion regulation is closely related to mental health. Improving the ability of emotion regulation will have a beneficial effect on the individuals. Now there is growing evidence that working memory training based on updating tasks can improve the emotion regulation ability of both people with mental illness and healthy people. This article reviews the research on the application of working memory training based on updating tasks in different population, to explore the effect and mechanism of the training and provide some insights for the application and development of the training in the field of emotion regulation.

**【Key words】** Working memory training; Updating task; Emotion regulation

**Fund program:** Natural Science Foundation of Heilongjiang (LH2020H030)

情绪调节是个体管理和改变自己或他人情绪的过程, 包括对情绪的觉知和理解能力、对情绪体验的接受能力、对情绪表达行为的控制能力以及灵活选取适当情绪调节策略的能力<sup>[1]</sup>。良好的情绪调节能力对个体的心理、社会功能及躯体健康具有重要意义<sup>[2]</sup>, 而不良的情绪调节将导致如焦虑症、抑郁症、药物滥用、创伤后应激障碍等一系列精神障碍的发生<sup>[3]</sup>。研究表明, 提高情绪调节能力将有助于避免以上问题<sup>[3]</sup>。近年来, 基于刷新任务的工作记忆训练在改善个体的情绪及情绪调节能力中显示出良好的前景。

基于刷新任务的工作记忆训练是一种以自适应的方式在电脑上对工作记忆任务进行集中操作与练习的认知训练<sup>[4]</sup>。工作记忆(working memory)是个体在执行认知任务过程中用于信息暂时储存与加工

的资源有限的系统<sup>[5]</sup>, 是日常生活中人们语言理解、进行决策、学习思考的基础<sup>[6]</sup>。由于工作记忆与个体的注意控制、信息执行控制、情绪控制等调控行为息息相关<sup>[7]</sup>, 故通过对工作记忆的训练, 将能对个体的情绪调节能力产生积极的迁移效应。此外, 由于该训练不受时间、地点的限制, 操作简单且容易获得, 于是国内外学者陆续将该训练广泛应用于如教育、心理、临床等各个领域, 并发现该训练可有效改善健康及精神心理疾病人群的情绪调节能力。因此, 本文从工作记忆与情绪调节两者关系、基于刷新任务的工作记忆训练对改善情绪调节能力的干预效果及起效机制 3 个方面加以介绍, 以期为个体情绪及情绪调节能力的改善提供一定的理论依据。

## 一、工作记忆与情绪调节的关系

既往研究发现, 参与情绪调节加工的脑区与进

行工作记忆的脑区存在着广泛的重叠<sup>[8]</sup>,两者的理论结构也具有一定的相似性,即工作记忆的核心功能是对信息进行存储与加工,除了对信息进行短暂的保存外,还涉及抑制、转换、刷新等加工环节;类似地,情绪调节过程也要求对不良的情绪信息进行抑制,同时对情绪价值信息进行不断的更新与转换<sup>[7]</sup>。因此,工作记忆过程可以被看作是情绪调节的认知基础,相关研究似乎也证实了这一点。例如,在针对健康成年人开展的研究中发现,工作记忆能力较高的个体,其负性情绪的唤醒不仅会更低<sup>[9]</sup>,而且在情绪调节的评价阶段或反应阶段,这种能力上的差异还可有效预测其在采取情绪调节策略后负性情绪的变化情况<sup>[10]</sup>。另有研究指出,工作记忆能力的高低还能进一步反映出认知重评是否有效<sup>[11]</sup>以及在情绪调节过程中对认知资源的需求状况<sup>[12]</sup>。此外,在对未成年人开展的研究中也有同样的发现,如患有注意力缺陷多动障碍(ADHD)的儿童由于其存在工作记忆缺损<sup>[13]</sup>,所以在高水平的工作记忆需求下表现出更多的自我批评,而在低水平的工作记忆需求下则表现出更高层次的积极情绪<sup>[14]</sup>。同样,就健康的青少年群体而言,其不良的情绪调节也往往与工作记忆能力的下降有关<sup>[15]</sup>。因此,现有证据表明工作记忆与情绪调节的确存在着密切联系。

## 二、基于刷新任务的工作记忆训练对改善情绪调节能力的干预研究

工作记忆训练依据训练内容可分为存储系统的训练和中央执行系统的训练。Baddeley<sup>[5]</sup>指出,在复杂的认知活动中,工作记忆存储成分所起的作用是有限的,相较而言中央执行系统(包含抑制、转移和刷新功能)由于具有通用加工器性质,因而其作用更为重要。同时,有研究也认为,针对中央执行系统的训练才是工作记忆训练的核心和实质<sup>[16]</sup>。因此,当前研究采用的工作记忆训练多为中央执行系统的训练。针对中央执行系统的训练一般基于刷新任务,常用的刷新任务主要有活动记忆任务(running memory task)和n-back任务。以下将分别就采用不同刷新任务的工作记忆训练的研究进行介绍。

1. 基于活动记忆任务的工作记忆训练的干预研究:基于活动记忆任务的工作记忆训练本质即是对工作记忆刷新功能的训练。工作记忆的刷新功能被认为与情绪调节密切相关<sup>[17]</sup>,因此,针对工作记忆刷新功能的训练将可能有利于情绪调节能力的改善,这也在相关研究中得到了证实。Xiu等<sup>[18-19]</sup>先后两次采用活动记忆任务,分别以心率变异性(HRV)

及晚期正性电位(LPP)为指标,考察工作记忆刷新训练对健康受试者情绪调节能力的影响,两项研究结果均支持该训练可有效提高健康受试者的情绪调节能力,而这种能力的提高可能与工作记忆刷新功能的改善有关。工作记忆刷新功能是一种发生在中央执行系统中的记忆以旧换新的过程<sup>[20]</sup>,其将不良的、无关的情绪信息刷掉,让良好的、有用的情绪信息进来,进而改变当前个体的情绪状态。有研究显示,抑郁症患者因存在刷新功能的缺陷<sup>[21]</sup>,无法及时更新不良情绪,故导致消极情绪的累积,最终造成抑郁状态。基于此,彭婉晴等<sup>[22]</sup>选用相同任务范式对抑郁倾向大学生进行了为期20d的刷新功能训练,发现训练组在情绪调节任务中的高频心率变异性(HF-HRV)水平有显著的增高且接近健康对照组水平,该结果表明工作记忆训练的效果可以转化为情绪调节,即基于刷新任务的工作记忆训练可有效改善抑郁倾向大学生的情绪调节能力。

2. 基于n-back任务的工作记忆训练的干预研究:n-back任务是工作记忆训练中最常见的实验训练范式<sup>[23]</sup>。其中,自适应性的双n-back任务训练是当前研究中广为应用的一种训练方式,该训练方式能够发现受训者在训练中遇到的每一个困难点(即工作记忆容量的极限),使受训者的工作记忆容量在训练中始终处于极限,并不断突破极限<sup>[24]</sup>。这一过程类似于逐级通过闯关游戏中的关卡,是一种内隐地增大工作记忆容量的方法。该训练可依据训练任务材料是否附带情绪刺激分为传统双n-back工作记忆训练与情绪双n-back工作记忆训练。

(1) 传统双n-back工作记忆训练的干预研究。以往研究表明,快感缺失是精神分裂症阴性症状的核心特征,其严重程度会影响精神分裂症患者的情绪调节<sup>[25]</sup>。因此,针对此阴性症状对精神分裂症患者开展工作记忆训练将有望改善症状。来自非临床高快感缺失个体的研究表明,双n-back训练能促进个体对积极情绪内容的行为敏感性,改变其享乐处理<sup>[26]</sup>,之后对临床样本开展的fMRI研究也得到了类似的结果。该结果表明,工作记忆训练可有效改善精神分裂症患者的阴性症状(快感缺失),且此症状的改善与训练后右侧岛叶和额回的激活增加有关<sup>[27]</sup>。研究进一步证实了该训练在此领域中的实用性及有效性,这也对改善精神分裂症患者情绪加工的干预措施的发展具有重要意义。此外,在改善焦虑和抑郁方面,该训练亦有良好效果。例如,Patricia等<sup>[28]</sup>采用该训练首次对非临床焦虑及抑郁

的青少年进行了为期20 d的工作记忆训练,发现该训练在减轻其焦虑情绪和改善抑郁相关症状中发挥出积极作用,且这种收益效果在干预后1个月仍可以被观察到,提示该训练不仅存在即时效果,而且还具有一定的持续效应。然而,在Wanmaker等<sup>[29]</sup>的研究中并未发现该训练对改善焦虑及抑郁的作用,这也引起大家对该训练效益迁移至情绪方面的质疑。

(2) 情绪双n-back工作记忆训练的干预研究。近年来,情绪双n-back工作记忆训练日益受到重视。有研究认为,只有情绪化的工作记忆训练(非传统工作记忆训练)才可能有益于情绪控制<sup>[30]</sup>。因此,Simone等<sup>[31]</sup>利用此范式,采取单盲随机设计将纳入研究的40例社交焦虑加剧者随机分配到情绪双n-back任务训练组和控制训练组(非工作记忆任务),并在训练前后让所有被试完成即兴演讲任务、工作记忆任务及自我报告任务并对其训练前后的情绪与认知进行评估。在经过连续6 d的训练之后,发现两组被试在情绪和认知方面均具有显著改善。进一步分析发现,仅情绪工作记忆训练在减轻社交焦虑加剧者演讲时焦虑情绪峰值水平及减少其事后加工(对最近的社交评估情境进行反复思考)中发挥效果。换言之,只有情绪双n-back训练对社交焦虑加剧者的情绪与认知产生了有利影响,该研究为情绪工作记忆训练可能对社交焦虑加剧的个体有益提供了初步证据。针对只有情绪化的工作记忆训练才可能有益于情绪控制的说法,最新的一项研究给出了见解。该研究表明,不论是情绪化的还是传统的工作记忆训练均能对情绪调节产生有利影响,两者区别在于情绪化工作记忆训练除了与传统工作记忆训练一样能增强外显情绪调节外,还能进一步增强内隐情绪控制<sup>[32]</sup>,该结果证明了工作记忆训练是否附带情绪刺激都将对个体的情绪调节产生一定效益。当然,未来还需要更多设计严密的RCT研究对该发现进行验证,深入探讨工作记忆训练在情绪调节不同方面中的作用。

### 三、基于刷新任务的工作记忆训练对改善情绪调节能力的起效机制

在上述内容中,基于刷新任务的工作记忆训练能够有效地改善个体的情绪调节能力已经得到了证实,但其起效机制尚无明确的定论。有研究表明,工作记忆训练能使大脑结构及功能发生变化<sup>[33]</sup>。鉴于支持情绪调节的神经网络与进行工作记忆的额顶“多需求”网络在很大程度上重叠<sup>[34]</sup>,因此,通过

对工作记忆的训练增强额顶网络的整体功能,将有可能对个体的情绪及情绪调节能力产生有利影响。在以往研究<sup>[8]</sup>中,基于刷新任务(情绪双n-back)的工作记忆训练能使参与者的情绪调节能力在训练后得到改善;在行为水平方面,接受训练的参与者在在工作记忆任务中的表现更好并且能够更有效地调节负面的情绪反应;在神经水平方面,接受训练的个体在执行情感工作记忆任务和情绪调节任务时,额顶网络的激活变化更大。因此,在行为学以及神经水平方面的结果均支持了情绪工作记忆和情绪调节之间的假设转移效应,并证明了这种转移与额顶网络功能的改变有关。

考虑到大脑区域的重叠,不论是无干扰内容还是情绪内容都需要对其进行管理以维持工作记忆的进程。因此,工作记忆训练可能与新的认知过程的发展有关;同时,这些新的认知过程的出现可以解释情绪信息得到有效管理的转移效应。最新的一项荟萃分析显示,在基于刷新任务的工作记忆训练后,额顶网络及皮层下区域发生了功能改变<sup>[35]</sup>,该结果也为新的认知机制的出现提供了证据。在工作记忆运行过程中,额顶神经网络中的背外侧前额叶皮层在注意控制方面起着关键作用,其允许将与任务无关的信息搁置一旁<sup>[36]</sup>,尤其当无关的情绪信息会干扰个人当前目标时,对任务无关的情绪信息进行更好的心理控制可以帮助个人从情绪信息中转移出来,从而有助于促进有效的情绪调节。通过提升注意控制这一认知能力,进而改善情绪及情绪调节能力的这一作用机制也在相应的实证研究中得到了印证<sup>[19, 37]</sup>。根据既往神经影像学的研究可知,情绪调节涉及前额叶皮层和皮层下不同脑区的相互作用<sup>[38-39]</sup>,前额叶区域(尤其是背外侧、腹外侧、背内侧前额叶皮层和眶额皮层)与杏仁核相互连接,在不同的情绪调节阶段中发挥关键作用<sup>[39-41]</sup>。工作记忆训练后,大脑皮层下区域的功能变化表明随着新策略的发展,情绪调节变得更加直观且不费力<sup>[42]</sup>。此外,工作记忆训练后额顶网络激活的减少被认为是神经效率的提高<sup>[33]</sup>,即训练提高了认知效率。在有些研究中,训练带来的变化仅仅体现在任务反应时的减少<sup>[43]</sup>。此现象可能是由于在认知负荷最小的简单认知任务中,没有额外的空间使得认知训练对表现造成影响,即所谓的“天花板效应”(指已经达到了最佳的表现,没有进一步提高的空间)。在这种情况下,反应时的减少可以解释为任务执行效率的提高。基于刷新任务的工作记忆训练能够通过提升工作记忆的加

工效率解放工作记忆容量<sup>[4, 44]</sup>, 这意味着在进行情绪评估的情况下, 将有更多的认知资源可用来进行情绪调节。

#### 四、小结

目前, 研究已经证明了基于刷新任务的工作记忆训练可以使大脑功能发生变化, 进而使情绪以及情绪调节能力得到改善。但仍存在一些问题。(1) 研究显示, 无论是传统工作记忆训练还是情绪工作记忆训练均能有益于情绪的处理, 当然这仍需要对以往结果进一步检验, 了解情绪工作记忆训练与传统工作记忆训练对改善情绪调节能力的区别与联系, 深入探讨两者是如何影响大脑功能与结构的变化以及训练前后进行情绪调节时大脑激活模式的改变。(2) 气质类型、人格特征等个体差异都会调节工作记忆训练的结果<sup>[45]</sup>, 对训练后的认知和主观结果造成影响, 这意味着需要进一步探索个体差异对训练产生情绪效益的影响, 了解个体差异是未来的关注点。(3) 在对工作记忆训练开展的研究中, 由于不同研究采取的训练时长、训练任务以及对象设置往往存在一些差异, 从而导致不同研究之间出现不一致的结果。然而, 这种结果的不一致性是由于训练时间、训练采用的任务或研究对象的不同而有所不同还是由于其他一些潜在的驱动机制所导致, 仍需要进一步探索。

综上所述, 未来研究可以通过设置更为严密的实验方案, 继续考察工作记忆训练对不同的人群认知及情绪的影响, 进一步完善工作记忆训练的程序, 并尝试联合其他专门针对情绪唤起的干预措施, 帮助增强训练效果, 且探索训练效果潜在的起效机制。

**利益冲突** 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

**作者贡献声明** 论文构思与设计、文献收集及整理、文章撰写为许雪莲, 文章审校与修订为赵琦、曾聪、曹建琴

#### 参 考 文 献

[1] 叶宝娟, 方小婷, 杨强, 等. 情绪调节困难对大学生手机成瘾的影响: 相貌负面身体自我和社交回避与苦恼的链式中介作用[J]. 心理发展与教育, 2017, 33(2): 249-256. DOI: 10.16187/j.cnki.issn1001-4918.2017.02.14.  
Ye BJ, Fang XT, Yang Q, et al. The effects of difficulties in emotional regulation on college students' mobile phone addiction: the chain mediating effect of facial negative physical self and social avoidance and distress[J]. Psychological Development and Education, 2017, 33(2): 249-256.

[2] 胡哲, 谢威士. 大学生情绪调节能力与情绪调节策略、流体智力的关系研究[J]. 周口师范学院学报, 2019, 36(2): 139-143. DOI: 10.13450/j.cnki.jzkn.2019.02.035.  
Hu Z, Xie WS. Study on the relationship between college

students' emotion regulation competence, emotion adjustment regulation strategy and fluid intelligence[J]. Journal of Zhoukou Normal University, 2019, 36(2): 139-143.

[3] Berking M, Wupperman P. Emotion regulation and mental health: recent findings, current challenges, and future directions[J]. Curr Opin Psychiatry, 2012, 25(2): 128. DOI: 10.1097/YCO.0b013e3283503669.

[4] 刘春雷, 周仁来. 工作记忆训练对认知功能和大脑神经系统的影响[J]. 心理科学进展, 2012, 20(7): 1003-1011. DOI: 10.3724/SP.J.1042.2012.01003.  
Liu CL, Zhou RL. Effects of working memory training on cognition and brain plasticity[J]. Advances in Psychological Science, 2012, 20(7): 1003-1011.

[5] Baddeley A. Working memory[J]. Science, 1992, 255(5044): 556-559. DOI: 10.1126/science.1736359.

[6] 郭春彦. 工作记忆: 一个备受关注的研究领域[J]. 心理科学进展, 2007, 15(1): 1-2. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3710.2007.01.001.  
Guo CY. Working memory: a very active research area[J]. Advances in Psychological Science, 2007, 15(1): 1-2.

[7] 潘东旋, 李雪冰. 工作记忆训练在精神疾病中的应用[J]. 心理科学进展, 2017, 25(9): 1527-1543. DOI: 10.3724/SP.J.1042.2017.01527.  
Pan DN, Li XB. Working memory training in mental disorders[J]. Advances in Psychological Science, 2017, 25(9): 1527-1543.

[8] Schweizer S, Grahn J, Hampshire A, et al. Training the emotional brain: improving affective control through emotional working memory training[J]. J Neurosci, 2013, 33(12): 5301-5311. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2593-12.2013.

[9] Pe ML, Raes F, Kuppens P. The cognitive building blocks of emotion regulation: ability to update working memory moderates the efficacy of rumination and reappraisal emotion[J]. PLoS One, 2013, 8(7): e69071. DOI: 10.1371/journal.pone.0069071.

[10] Hendricks MA, Buchanan TW. Individual differences in emotion control processes and their relationship to emotion regulation[J]. Cogn Emot, 2016, 30(5): 912-924. DOI: 10.1080/02699931.2015.1032893.

[11] Gan S, Yang J, Chen X, et al. High working memory load impairs the effect of cognitive reappraisal on emotional response: evidence from an event-related potential study[J]. Neurosci Lett, 2017, 639: 126-131. DOI: 10.1016/j.neulet.2016.12.069.

[12] Zaehring J, Falquez R, Schubert AL, et al. Neural correlates of reappraisal considering working memory capacity and cognitive flexibility[J]. Brain Imaging Behav, 2018, 12(6): 1529-1543. DOI: 10.1007/s11682-017-9788-6.

[13] Willcutt EG, Nigg JT, Pennington BF, et al. Validity of DSM-IV attention deficit/hyperactivity disorder symptom dimensions and subtypes[J]. J Abnorm Psychol, 2012, 121(4): 991. DOI: 10.1037/a0027347.

[14] Tarle SJ, Alderson RM, Arrington EF, et al. Emotion regulation and children with attention-deficit/hyperactivity disorder: the effect of varying phonological working memory demands[J]. J Attent Disord, 2019, 25(6): 851-864. DOI: 10.1177/1087054719864636.

[15] Malagoli C, Usai MC. WM in adolescence: what is the relationship with emotional regulation and behavioral outcomes?[J]. Front Psychol, 2018, 9: 844. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00844.

[16] 黎翠红, 何旭, 郭春彦. 工作记忆训练的研究述评[J]. 心理

- 与行为研究, 2014, 12(3): 407-412. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0628.2014.03.022.
- Li CH, He X, Guo CY. Review on working memory training[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2014, 12(3): 407-412.
- [17] Pe ML, Peter K, Marlies H, et al. Updating in working memory predicts greater emotion reactivity to and facilitated recovery from negative emotion-eliciting stimuli[J]. Front Psychol, 2015, 6: 372. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00372.
- [18] Xiu LC, Zhou RL, Jiang YH. Working memory training improves emotion regulation ability: evidence from HRV[J]. Physiol Behav, 2016, 15: 25-29. DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.12.004.
- [19] Xiu LC, Wu J, Chang L, et al. Working memory training improves emotion regulation ability[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 15012. DOI: 10.1038/s41598-018-31495-2.
- [20] Morris N, Jones DM. Memory updating in working memory: the role of the central executive[J]. Br J Psychol, 1990, 81: 111-121. DOI: 10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x.
- [21] Jutta J, Ian HG. Emotion regulation in depression: relation to cognitive inhibition[J]. Cogn Emot, 2010, 24(2): 281-298. DOI: 10.1080/02699930903407948.
- [22] 彭婉晴, 罗玮, 周仁来. 工作记忆刷新训练改善抑郁倾向大学生情绪调节能力的HRV证据[J]. 心理学报, 2019, 51(6): 648-661. DOI: 10.3724/SP.J.1041.2019.00648.
- Peng WQ, Luo W, Zhou RL. HRV evidence for the improvement of emotion regulation in university students with depression tendency by working memory training[J]. Acta Psychologica Sinica, 2019, 51(6): 648-661.
- [23] Soveri A, Karlsson E, Waris O, et al. Pattern of near transfer effects following working memory training with a dual N-back task[J]. Exp Psychol, 2017, 64(4): 240-252. DOI: 10.1027/1618-3169/a000370.
- [24] Shipstead Z, Redick TS, Engle RW. Does working memory training generalize?[J]. Psychol Belg, 2010, 50(3/4): 245-276. DOI: 10.5334/pb-50-3-4-245.
- [25] Daros AR, Ruocco AC, Reilly JL, et al. Facial emotion recognition in first-episode schizophrenia and bipolar disorder with psychosis[J]. Schizophr Res, 2014, 153(1/3): 32-37. DOI: 10.1016/j.schres.2014.01.009.
- [26] Li X, Xiao YH, Zou LQ, et al. The effects of working memory training on enhancing hedonic processing to affective rewards in individuals with high social anhedonia[J]. Psychiatry Res, 2016, 245: 482-490. DOI: 10.1016/j.psychres.2016.09.006.
- [27] Li X, Chu MY, Lv QY, et al. The remediation effects of working memory training in schizophrenia patients with prominent negative symptoms[J]. Cogn Neuropsychiatry, 2019, 24(6): 434-453. DOI: 10.1080/13546805.2019.1674644.
- [28] Patricia B, Nazanin D. Adaptive working memory training can reduce anxiety and depression vulnerability in adolescents[J]. Dev Sci, 2020, 23(4): e12831. DOI: 10.1111/desc.12831.
- [29] Wanmaker S, Geraerts E, Franken I H A. A working memory training to decrease rumination in depressed and anxious individuals: a double-blind randomized controlled trial[J]. J Affect Disord, 2015, 175: 310-319. DOI: 10.1016/j.jad.2014.12.027.
- [30] Susanne S, Adam H, Tim D. Extending brain-training to the affective domain: increasing cognitive and affective executive control through emotional working memory training[J]. PLoS One, 2011, 6(9): e24372. DOI: 10.1371/journal.pone.0024372.
- [31] Simone ADT, Saif AK, Craig TD, et al. The effect of emotional working memory training on emotional and cognitive outcomes in individuals with elevated social anxiety[J]. J Affect Disord, 2020, 261: 76-83. DOI: 10.1016/j.jad.2019.09.085.
- [32] Pan DN, Hoid D, Wang XB, et al. When expanding training from working memory to emotional working memory: not only improving explicit emotion regulation but also implicit negative control for anxious individuals[J]. Psychol Med, 2020, 30: 1-10. DOI: 10.1017/S0033291720002275.
- [33] Clare K, Hugh G. Human functional neuroimaging of brain changes associated with practice[J]. Cereb Cortex, 2005, 15(8): 1089-1102. DOI: 10.1093/cercor/bhi005.
- [34] Duncan J. The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour[J]. Trends Cogn Sci, 2010, 14(4): 172-179. DOI: 10.1016/j.tics.2010.01.004.
- [35] Katerina P, Viveka B, Kristin EF, et al. Working memory updating training promotes plasticity & behavioural gains: a systematic review & meta-analysis[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2020, 118: 209-235. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2020.07.027.
- [36] Banich MT, Mackiewicz KL, Depue BE, et al. Cognitive control mechanisms, emotion and memory: a neural perspective with implications for psychopathology[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2009, 33(5): 613-630. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2008.09.010.
- [37] 赵鑫, 党宸. 工作记忆训练对焦虑情绪的改善: 效果及机制[J]. 中国临床心理学杂志, 2019, 27(1): 33-37. DOI: 10.16128/j.cnki.1005-3611.2019.01.007.
- Zhao X, Dang C. Working memory training towards anxiety[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2019, 27(1): 33-37.
- [38] Li Z, Tong L, Guan M, et al. Altered resting-state amygdala functional connectivity after real-time fMRI emotion self-regulation training[J]. Biomed Res Int, 2016, 2016: 2719895. DOI: 10.1155/2016/2719895.
- [39] Linhartová P, Látalová A, Kó AB, et al. fMRI neurofeedback in emotion regulation: a literature review[J]. Neuroimage, 2019, 193: 75-92. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.011.
- [40] Kohn N, Eickhoff SB, Scheller M, et al. Neural network of cognitive emotion regulation: an ALE meta-analysis and MACM analysis[J]. Neuroimage, 2014, 87: 345-355. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.11.001.
- [41] Svoboda E, McKinnon MC, Levine B. The functional neuroanatomy of autobiographical memory: a meta-analysis[J]. Neuropsychologia, 2006, 44(12): 2189-208. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.05.023.
- [42] Susan EG, Darren LD, Joni H, et al. Working memory training involves learning new skills[J]. J Mem Lang, 2016, 105: 19-42. DOI: 10.1016/j.jml.2018.10.003.
- [43] Bastian C, Oberauer K. Effects and mechanisms of working memory training: a review[J]. Psychol Res, 2014, 78(6): 803-820. DOI: 10.1007/s00426-013-0524-6.
- [44] 史战. 考试焦虑者工作记忆刷新功能的特征及矫治训练[D]. 南京: 东南大学, 2016. DOI: 10.7666/d.Y3141528.
- [45] Urbánek T, Marček V. Investigating the effectiveness of working memory training in the context of Personality Systems Interaction theory[J]. Psychol Res, 2016, 80(5): 877-888. DOI: 10.1007/s00426-015-0687-4.

(收稿日期: 2021-03-20)

(本文编辑: 赵金鑫)