发明问题解决中的蔡格尼克效应

童丹丹[†], 杨文静[†], 李亚丹, 郭亚男, 邱江, 张庆林^{*}

西南大学心理学部, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715

[†] 同等贡献

^{*} 联系人, E-mail: zhangql@swu.edu.cn

2015-05-11 收稿, 2015-08-26 接受, 2015-10-15 网络版发表

国家自然科学基金(31470981)和中央高校基本科研业务费专项(SWU1509348, SWU1509338)资助

摘要 以 20 个发明问题和 10 个一般问题为实验材料, 采用“先问题-后原型”的实验范式及基于体素的形态学分析技术(VBM), 探讨发明问题解决中的蔡格尼克效应. 实验结果表明, 发明问题解决能力与蔡格尼克效应呈显著正相关, 即问题解决能力强的个体, 回忆发明问题及未解决问题的能力也较强. 进一步的实验表明, 蔡格尼克效应与双侧的海马(hippocampal)、海马旁回(parahippocampal)的区域性灰质体积存在显著正相关性. 这种关联可以从这些脑区对记忆、目标寻求、模糊容忍、情绪管理的作用上来理解.

关键词

发明问题
原型启发
蔡格尼克效应
形态学分析技术
海马

创造是人类文明的基石, 是社会进步的动力^[1]. 在创造性思维研究中, 顿悟是一个重要的课题. 经验表明, 顿悟的发生有一定的必然性. 正如路易巴斯德所说, 机会总是光顾有准备的头脑^[2]. 所谓有准备的头脑, 可以理解为先存着未解决的问题并对其不断进行思考的头脑. 格式塔心理学家蔡格尼克让被试处理 20 个任务, 1/2 任务允许做完, 另 1/2 任务在没有做完时就被中止, 结果发现人们对于那些未能完成的任务记忆效果更好^[3]. 这一现象被称为蔡格尼克效应(Zeigarnik effect). 研究者认为, 在蔡格尼克效应中, 对未解决问题的持续操作使被试对问题有更好的注意和记忆, 在顿悟的酝酿阶段能更好地从环境中提取对解决问题有帮助的信息^[4-6].

从另一方面来看, 顿悟的发生也有相当的随机性. 研究者认为, 顿悟的发生似乎都在一定程度上受到了原型事物的启发^[7,8]. 例如, 鲁班在采草药时无意中从草药的锯齿形叶片中受到了启发, 从而发明了锯子. 根据这一现象, 张庆林团队^[9,10]提出了顿悟的“原型启发理论”. 该理论认为, 在解决发明问题的思考过程中, 如果一个恰当的原型被注意并与待解

决的问题建立联系, 就能够发生顿悟. 这里所谓的原型事件, 不是指客观的外界事物, 而是指头脑中对外界事物的主观认知或表征, 即能对目前的顿悟问题解决起到启发作用的认知事件. 在实验研究中它可能是提供的“原型”在被试头脑中的表征, 也可能是被试头脑中已有的相关问题^[11]. 根据“原型启发理论”, 该团队^[12]收集了大量发明问题实例用于顿悟研究, 按照“问题情境、提问、原型”的形式编写了《科学发明实验问题材料库》. 科学发明问题解决是指在启发性原型知识的帮助下, 个体更创造性地解决问题, 是一种生态学效度较好的顿悟研究范式. 后续一系列的实验研究证明了该研究工具及研究范式的有效性^[8,11,13-15].

模糊容忍度(tolerance of ambiguity)被定义为对模糊性刺激的一系列由拒绝到吸引的反应^[16]. 高模糊容忍度的个体喜欢模糊性的刺激, 并将这种刺激感知为令人满意的、有挑战性的、有兴趣的; 而低模糊容忍度的个体在面对模糊性刺激时则感到很沮丧、焦虑、过早的反应(reacts prematurely)以及试图避免模糊性刺激模糊容忍度^[17]. 未解决问题也是一

引用格式: 童丹丹, 杨文静, 李亚丹, 等. 发明问题解决中的蔡格尼克效应. 科学通报, 2015, 60: 3583-3593

Tong D D, Yang W J, Li Y D, et al. Zeigarnik effect in scientific inventions creations problem solving (in Chinese). Chin Sci Bull, 2015, 60: 3583-3593, doi: 10.1360/N972015-00508

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/N972015-00508>

种悬而未决的模糊性刺激, 模糊容忍度的大小决定被试是将未解决问题搁置起来延期解决还是将他们遗忘. 已有研究表明, 模糊容忍度越高的个体, 创造性水平也就越高^[18]. 因此, 对于这种模糊刺激的容忍更能促进更明显的蔡格尼克效应的产生, 因此可以推断模糊容忍度也与蔡格尼克效应有很高的相关性.

蔡格尼克效应的脑机制研究方面, 国内外学者进行了探索. Fiore和Schooler^[19]利用单侧视野呈现技术与九点连线问题进行研究, 发现右脑在蔡格尼克效应中发挥着更重要的作用. Bowden和Beeman^[20]先让被试参与远距离联想测试(remote associates task, RAT), 然后分别将单词呈现于被试的左视野(右脑)和右视野(左脑), 要求被试进行词汇命名. 结果发现, 如果词汇命名任务中出现的是前面未解决的RAT题目的答案时, 仅在呈现于左视野(右脑)时表现出启动效应. Bowden和Beeman^[21]使用同样范式, 并让被试判断词汇命名时呈现的单词是否为RAT的答案, 并评价识别出答案时候的顿悟体验, 结果发现被试对于呈现于左视野的未解决的问题的答案有更高的顿悟体验. 疑惑的感觉、对结果的紧张、中断任务的特殊性都可能会促进人的心理活动指向未完成的悬而未决的任务, 从而对有关内容记忆更牢^[22~24].

近年来, 随着事件相关电位(event related potential, ERP)、功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)等技术的发展, 顿悟问题解决与蔡格尼克效应研究的手段逐渐趋于多元化. 唐晓晨等人^[6]利用汉字组块破解任务和ERP技术, 研究大脑左右半球在问题求解失败以及关键提示信息呈现2个阶段的活动情况. 结果发现, 问题求解失败在右半球额叶激发了更大的P150成分; 在提示信息呈现阶段, 未解决的问题与已解决的问题相比在右半球额叶引发了更大的P2波幅. 该研究结果进一步表明求解失败会引起右半球对未解决问题的保持增强, 并导致对提示信息更加敏感. Anderson等人^[25]使用RAT和词语碎片任务(word fragment tasks)以及fMRI技术探索发明问题解决不同阶段的神经机制. 结果发现, 与获得解决的问题相比, 未解决的刺激在整个过程中左侧额下回(left inferior prefrontal cortex, LIPFC)都获得更大的激活, 而前扣带(anterior cingulate cortex, ACC)的激活都更弱. Darsaud等

人^[26]使用数字减少任务(number reduction task, NRT)及fMRI技术研究延时顿悟的神经机制, 结果发现, 未解决的问题在双侧腹内侧前额叶(ventral medial prefrontal cortex, VMPFC)及运动区域获得激活, 已解决问题在背内侧前额叶(dorsal medial prefrontal cortex, DMPFC)和背外侧前额叶(dorsal lateral prefrontal cortex, DLPFC)上获得更大激活. 朱海雪等人^[13]利用发明问题材料和fMRI技术, 通过“问题先导”和“原型先导”两种范式的比较探讨了顿悟的原型位置效应. 结果表明, 问题先导(被试带着未解决的问题去学习原型知识)的条件下, 左侧额中回(middle frontal gyrus, MFG)和左侧颞中回(middle temporal gyrus, MTG)显著激活.

尽管已有一些有趣的发现, 但目前对蔡格尼克效应和顿悟之间关系还是不明确. 首先, 已有研究更多的是在探讨问题未解决状态下的脑机制, 而没有从未解决问题的记忆和注意这一角度进行思考, 而对未解决问题保持持续的更关注更可能是顿悟的关键. 其次, 在个体差异研究方面, 研究发现高动机强度的精神分裂患者与高成就需要的个体都表现出了更强的蔡格尼克效应^[27,28], 而有强迫行为的个体也表现出了对已完成任务的更差记忆情况^[29]. 已有研究表明了蔡格尼克效应个体差异的存在, 但是对于蔡格尼克效应个体差异的脑机制目前还没有研究. 最后, 在脑机制研究方面, 已有研究大多使用基于任务的功能磁共振成像技术(fMRI), 而对于蔡格尼克效应的全面了解则需要采用更丰富的研究手段来探讨蔡格尼克效应的相应脑机制.

基于“原型启发理论”, 本研究认为, 蔡格尼克效应在发明问题解决中发挥着重要的作用. 蔡格尼克效应表现较强的个体, 对未解决问题会有更好的持续加工和记忆, 因此在遇到原型信息时能够更好地利用, 从而在发明问题解决中获得更好的成绩. 为验证以上观点, 实验一以未解决发明问题的回忆率(未解决发明问题的回忆数/未解决的发明问题的总数)作为蔡格尼克效应的指标, 采用“先问题, 后原型”的实验范式探讨蔡格尼克效应和发明问题解决能力的关系. 实验二在实验一的基础上, 加入基于体素的形态学分析(voxel-based morphometry, VBM)技术, 从未解决问题的探求能力高低与脑结构之间关系的角度对蔡格尼克效应的脑机制进行研究.

1 实验一

1.1 方法

(i) 被试. 50名来自某大学的在校学生, 平均年龄23.41岁, 男生15人, 视力或矫正视力正常, 具有初步的电脑操作技能, 实验前均签署了知情同意书, 做完实验后给予适当报酬.

(ii) 实验材料. 本实验从《科学发明创造实验问题材料库》中选取20个题目用于正式实验. 《科学发明创造实验问题材料库》的每个题目均包含一个原型、一个问题(分为“问题情境”和“提问”两部分). 科学发明创造实验问题材料举例.

问题1: (问题情境)宇航员出舱时候穿的宇航服, 既要有一定的坚硬度以便承受气压, 又要能够弯曲, 便于宇航员出舱操作. (提问)怎样使宇航服既有硬度又能在需要时自由弯曲呢?

问题2: (问题情境)货轮要避免触礁, 而多数暗礁是用任何形式的望远镜都看不见的. (提问)发明什么样的设备可以使船只轻易躲避暗礁?

问题3: (问题情境)煤层中充满瓦斯气体, 瓦斯气体很容易遇热爆炸. 煤矿中需要有照明而普通照明灯又会产出极大的热量, 导致瓦斯爆炸. (提问)如何使煤矿中的照明灯不易导致瓦斯爆炸?

以下是对应上述3个问题的原型(以随机顺序呈现).

原型1(对应问题2): 海豚有专门发射和接收超声波的器官, 并因此可以依靠超声波探测鱼群, 寻找食物.

原型2(对应问题3): 萤火虫体内有荧光素和荧光素酶, 两种物质在水中混合, 经过化学反应, 发出生物冷光, 不产生热量.

原型3(对应问题1): 煮熟的虾子, 其身体部分的外壳, 既坚硬又可以弯曲.

由于实验中要考察被试对于未能解答的题目的回忆情况, 所以要保证在没有原型启发材料时, 被试能够直接解答的发明问题数量很少, 保证被试有一定的题目量可以进行回忆. 反映到《材料库》中, 表现为题目难度较大, 即在没有启发的情况下被试很难解决问题. 实验中题目难度均值 $M_1=96.01$, $SD=3.15$, 材料库中所有题目难度均值 $M_2=73.88$, $SD=22.10$. 实验题目的难度均值与所有题目难度均值的差异大于一个标准差.

正确率1(指第一次呈现问题时的解答正确率)对应的反应时为反应时1; 正确率2(学习原型后再呈现问题时的解答正确率)对应的反应时为反应时2. 运用这两个指标可以计算“原型启发量”, 原型启发量 $= (\text{正确率2} - \text{正确率1}) \times 100$; 另外, 每个题目的难度系数的计算公式为: 难度系数 $= 1 - \text{只呈现问题时的解答正确率}^*$.

为探究发明问题解决能力与蔡格尼克效应之间的关系, 实验中将20个题目分为两组, 10个提供原型的题目: 用以测试被试利用原型启发解决发明问题的能力; 10个不提供原型的题目: 用以测试被试的蔡格尼克效应. 第一组题目平均难度 $M=96.33$, $SD=3.02$, 第二组题目平均难度 $M=95.70$, $SD=3.40$, 二组之间差异不显著($t(18)=0.44$, $P>0.05$).

10道几乎没有难度的生活常识类问题, 被试可以很轻松地解决这些问题. 平均难度 $M=0.03$, $SD=0.05$, 例如, 下雨的时候如何尽量避免身上的衣服被淋湿? 答案为打伞. 此外, 本实验还进一步测试了《多种刺激类型的模糊容忍度量表(MSTAT-II)》(McLain, 2009)用以证明该实验范式下选用的蔡格尼克效应指标的有效性. 该量表于2009年编制, 用来评估个体对于不熟悉的、复杂的、新异的刺激的容忍程度. 一共包括13个项目(3个项目关于不能解决的刺激、2个项目关于复杂刺激、2个项目关于不熟悉的刺激、1个项目关于不确定刺激、5个项目关于一般的模糊性刺激), 李克斯特5级评分(1, 非常不同意~5, 我非常同意). 题目举例: 比起新异的刺激我更喜欢熟悉的刺激(熟悉性); 我发现当结果不确定时我很难做出选择(确定性). 已有研究表明, 量表分数分别与冒险倾向($R=0.33$)、感知风险($R=0.13$)、感知不确定($R=0.19$)存在着正相关, 与压力存在着负相关($R=-0.23$), 且与已有的模糊容忍度量表MacDonald's AT-20存在正相关($R=0.41$)说明该量表有着比较好的效度证据.

(iii) 实验程序. 本研究采取“单独施测”的方式, 被试分别进入各自独立的房间内. 程序采用E-prime软件编程, 完成实验材料的随机呈现并自动记录被试的反应时. 为了让被试完全明白实验任务以及注意事项, 在正式实验开始之前, 让被试认真阅读指导语并进行适当的练习实验, 练习所使用的实验材料不会在正式实验中出现. 实验分为两个阶段: 原型启发能力测量阶段和蔡格尼克效应测量阶段.

(1) 发明问题解决能力测量的实验程序: 首先屏幕会出现实验任务的指导语, 被试理解后按空格键; 紧接着屏幕显示 1 s 的注视点, 然后呈现一段“问题情境及问题”的文字材料, 被试理解并尝试解决后迅速按键, 能够解答按“F”, 不能解答按“J”(问题呈现时限为 90 s, 90 s 还未反应自动进入下一步), 重复前面的步骤, 一共呈现 10 个“问题情境”. 随后屏幕呈现一个“原型”, 被试迅速理解原型并思考是否可以应用这个“原型”去解决之前 10 个问题中的某一个, 能够解答按“F”, 不能解答按“J”(原型呈现时限为 60 s, 60 s 还未想到可以解决的问题自动进入下一题), 重复前面的步骤, 一共随机呈现 10 个对应原型. 材料呈现完毕后, 给予被试一张答题纸(写着 10 个需要解决的发明问题), 要求被试在 20 min 之内写下问题解决的答案. 实验流程如图 1 所示.

(2) 蔡格尼克效应测量的实验程序: 每个材料出现之前, 屏幕上会有一个 1 s 的“+”的提示, 随后屏幕随机呈现一个“发明问题”或者“常识问题”, 被试迅速理解并尝试解决问题的方法, 如果能解答按“F”, 不能解答按“J”, 记录问题回答的反应时(问题呈现时限为 90 s, 90 s 还未反应自动进入下一步); 按键后会呈现作答问题的屏幕(会给被试有充足的时间来写下问题的答案, 不会则在对应题号上写“不知道”), 作答完毕后按空格键开始下一个问题. 重复前面的步骤, 一共解答 20 个问题. 问题解决完成后要求被试闭目休息 20 min. 休息结束后给予被试一张空白的答题纸, 要求被试在 10 min 左右尽可能多的自由回忆出刚才的 20 个问题并写出来. 实验流程如图 2 所示.

(iv) 计分标准. (1) 问题解决能力计分: 根据被试的按键和答案, 对被试的反应进行 2 点评分. 被试在“原型”阶段按 F 键并且正确写出解决问题答案记

1 分, 否则为 0 分. 最后得到每个被试的发明问题解决能力的分数. (2) 蔡格尼克效应计分: 根据被试的答案, 对被试进行 2 点评分. 被试在“科学”阶段按 F 键并且正确写出解决问题答案记 1, 否则记 0. 未解决发明问题的回忆率, 即被试回忆出的分数为 0 的题目数与分数为 0 的题目总数的比值. 计算方法: 未解决发明问题的回忆数/未解决的发明问题的总数.

1.2 结果

发明问题解决能力得分与蔡格尼克效应得分的相关被试的模糊容忍度分数与蔡格尼克效应分数相关显著($R=0.30$, $P<0.05$); 发明问题解决能力分数与蔡格尼克效应分数相关显著($r=0.54$, $P<0.001$). 具体数值见表 1.

结果表明, 发明问题解决能力得分与蔡格尼克效应之间的相关显著, 表明高问题解决能力的个体表现出更明显的蔡格尼克效应. 本研究中模糊容忍度与蔡格尼克效应的相关显著, 也在一定程度上说明了本文中蔡格尼克效应指标的有效性.

1.3 讨论

科学发明者倾向于在头脑中预存一些尚未解决的“科学难题”, 在不经意间遇到某个原型事物, 从而使头脑中预存的“科学难题”被自动激活并得到解决. 而在此过程中, 高创造性的人似乎更加“独具慧眼”, 更能够排除无关信息的干扰, 更好地应用“启发信息”来解决问题^[14].

从本实验的结果中可以看出, 高创造性个体对于发明问题有更好的关注和选择, 因此在头脑中更多地预存发明问题. 此外, 高创造性个体对于未解决的发明问题有更明显的“有始有终”的驱动力, 促使

图 1 实验流程图

Figure 1 Flow diagram of experiment

图 2 实验流程图

Figure 2 Flow diagram of experiment

表1 发明问题解决, 模糊容忍度与蔡格尼克效应分数的平均数与标准差

Table 1 The mean and standard deviation of scientific problem solving, tolerance of ambiguity and Zeigarnik effect scores

N	发明问题解决得分	模糊容忍度得分	蔡格尼克效应分数
50	6.89±2.41	35.72±6.05	0.48±0.22

被试对未解决的问题有更深刻的印象, 即更明显的蔡格尼克效应。这也就解释了为什么高创造性个体更加“独具慧眼”, 能更好地利用原型解决问题。

蔡格尼克效应是一种重要的创造性相关的人格特质, 但是已有相关研究只是简单地定位大脑半球, 较少的研究定位了脑区, 而对于蔡格尼克效应全面了解则需要采用更丰富的研究手段来探讨蔡格尼克效应的相应脑机制。区域性灰质体积(regional grey mater volume, rGMV)与认知能力的相关能够定义出与特定认知特点相关的脑区^[30,31]。基于此, 实验二使用基于体素的形态学分析(voxel-based morphometry, VBM)技术, 从未解决问题的探求能力高低以及脑结构的角度对蔡格尼克效应的脑机制进行研究。

2 实验二

2.1 方法

(i) 被试。为113名某大学的学生(男生45人; 平均年龄 $M=20.07$)参加了实验。视力或矫正视力正常, 具有初步的电脑操作技能, 实验前均签署了知情同意书, 做完实验后给予适当报酬。

(ii) 实验材料。从《科学发明创造实验问题材料库》中选取启发量较低且难度比较高的19个题目用于正式实验。实验中选择题目的难度数值为 $M=84.34$, $SD=13.06$ 。为排除智力的额外影响, 本实验还测量了《联合瑞文测验》。该测验包括瑞文彩色推理测验和瑞文标准推理测验且被应用于5~75岁的个体。测验包括12个项目, 每个项目都是缺少一部分的图形, 被试需要从6或者8个备选项目中选出一个他们认为适合的项目。测验有着较高的内部一致性信度(Cronbach's $\alpha=0.93$)和效度(与韦氏智力量表的相关为 $R=0.56$)^[32,33]。

(iii) 实验程序。与实验一相类似, 分为两个阶段: 原型启发能力测量阶段和蔡格尼克效应测量阶段。不同点在于, 原型启发能力测量阶段, 尝试让被试解决19个发明问题。被试回忆能力测量阶段, 让被试对刚解决过的19个发明问题进行自由回忆。

(iv) 数据采集。所有的磁共振影像通过3.0 T全身磁共振成像仪(西门子医药, 德国)获得。高分辨率的T1加权结构成像通过预磁化快速梯度回波序列获得。功能像相关参数如下: 重复时间(repetition time)=1900 ms, 回波时间(echo time)=2.52 ms, 反转时间(inversion time)=900 ms, 反转角(flip angle)=90°, 分辨率矩阵(resolution matrix)=256×256; 轴位176层; 层厚(thickness)=1.0 mm; 体素大小(voxel size)=1 mm×1 mm×1 mm。

(v) fMRI数据预处理。基于Matlab 7.8(Math Works Inc., Natick, 美国), 使用SPM8软件包(Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, 英国; www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm)实现对磁共振图像(magnetic resonance imaging, MRI)的数据处理和分析。首先, 使用SPM8的Display功能、排除伪迹和形态结构的异常。为了能够更好地对后续分析图像精确配准, 手动调整再定位MRI到前后连合平面(anterior-posterior commissure plan)。其次, 使用New Segmentation功能分割图像, 分割出灰质(gray matter)、白质(white matter)和脑脊液(cerebrospinal fluid)。再次, 使用DARTEL(SPM8 Diffeomorphic Anatomical Registration through Exponentiated Lie)工具进行配准、标准化和调整^[34-36]。最后, 配准产生的灰质和白质分别标准化(normalization)到蒙特利尔神经学研究所(the Montreal Neurological Institute, MNI)的空间标准脑模板, 同时把每一个被试的结构图像重新采样voxel size大小, 并产生已经标准到MNI空间的Jacobian调制和空间平滑(smooth)的组织图像。为了更好的信噪比本课题组选择平滑核大小为10 mm(full-width half-maximum, FWHM=10 mm)对图像进行空间平滑。

(vi) fMRI数据统计分析。本文探索与蔡格尼克效应个体差异相关的灰质体积。为了避免在灰质和白质接连处产生的边际效应, 在区域性灰质体积的分析中, 仅包含了阈值大于0.2的灰质体素。使用基于体素的协方差分析(voxel-wise analysis of covariance)进行全脑分析, 年龄、性别、智力分数、全脑灰质体积、Zeigarnik分数作为协变量加入到全因子模型中。使用多元线性回归(multiple linear regressions)来检测蔡氏效应与rGMV的关系。其中, 蔡氏效应分数被用来作为兴趣变量, 年龄、性别、智力、全脑灰质体积作为协变量。

显著性水平设置为 $P<0.05$, 并在cluster水平上进行非稳态矫正(nonstationary cluster-size), 体素阈值

设置为 $P<0.001$ ^[37].

2.2 结果

(i) 行为结果. 113名被试在年龄、瑞文智力分数、蔡格尼克效应分数的平均数和标准差以及性别差异检验见表2. 与实验一结果一致, 被试的发明问题解决能力分数与蔡格尼克效应分数相关显著($R=0.194$, $P<0.05$). 该结果说明发明问题解决能力与蔡格尼克效应之间存在着比较稳定的相关. 此外, 蔡格尼克效应分数在所有被试和男女分别的分析中都没有表现出与年龄和智力分数的相关(皮尔逊相关).

为了进一步地说明蔡格尼克效应与科学发明问

题解决能力的关系, 选取了科学发明问题组的前27%作为相对高科学发明问题解决组, 后27%作为相对低科学发明问题解决组. 差异检验结果发现, 两组被试在运用原型启发解答发明创造问题的解决得分上差异显著, 结果发现 $t(56)=-22.01$, $P<0.01$. 表明测验分数分得的两组确实有差异, 属于相对高分和相对低分组. 两组被试在蔡格尼克效应上分数上差异显著, $t(56)=-2.47$, $P<0.05$. 具体数值见表3.

(ii) 脑成像结果. 控制了年龄、性别、智力和全脑灰质体积的影响后, 蔡格尼克效应的分数与双侧的海马、海马旁的区域性灰质体积呈显著正相关. 具体见图3和表4.

表 2 人口学变量以及性别之间的差异检验
Table 2 Demographic variables and gender differences

测量指标	男		女		T 值	P 值
	平均数	标准差	平均数	标准差		
年龄	20.07	1.10	19.78	1.38	1.17	0.244
瑞文测验	66.11	4.03	66.41	2.90	0.46	0.646
蔡氏效应	0.42	0.20	0.41	0.19	0.20	0.841

表 3 科学发明问题解决能力正确率与蔡格尼克效应分数的平均数与标准差
Table 3 The mean and standard deviation of scientific problem solving accuracy and Zeigarnik effect scores

分组	N	发明问题解决得分正确率	蔡格尼克效应分数
相对高分组	29	0.70±0.06	0.47±0.24
相对低分组	29	0.32±0.07	0.33±0.18

图 3 (a) 与蔡氏效应显著正相关的脑区定位在双侧的海马、海马旁回, 矫正阈值; (b) 相关图表示蔡氏效应分数平均数与显著区域海马、海马旁回峰值区域性灰质体素的相关

Figure 3 (a) Regions with significant and positive correlations with Zeigarnik effect are shown in the bilateral hippocampus and parahippocampus $P<0.001$ (corrected); (b) a scatter plot of the relationship between the average Zeigarnik effect scores and rGMV values in the peak voxel of the significant cluster in the bilateral hippocampus and parahippocampus

表 4 灰质体积与蔡氏效应分数显著正相关的脑区

Table 4 Brain regions with positively significant correlations between brain structures and Zeigarnik scores

区域	半球	X	Y	Z	T 值	矫正后 P 值	Cluster 值
海马旁回/海马/颞上回	左	27	3	25	4.21	0.028	773
海马旁回/海马/颞上回	右	27	8	24	4.77	0.020	908

3 讨论

3.1 发明问题解决与蔡格尼克效应的关系

无论是瓦特从“沸腾的茶壶”想到用蒸汽去解决机械动力的问题,还是鲁班受到“锋利的茅草”的启发想到发明密齿状结构的锯,这些经典的科学发明事例都表明,现实生活中的科学发明者更倾向于在头脑中预存一些尚未解决的“科学难题”,在百思不解时不经意间遇到某个表面无关但有内在联系的启发性事物或者信息,从而使头脑中预存的“科学难题”被自动激活并得到解决。而在此过程中,高创造性的人似乎更加“独具慧眼”,更能够排除无关信息的干扰,更好地应用“启发信息”来解决问题^[14]。

科学家或者发明家在遇到表面上不相关事物(原型)的时候,如何从中受到启发并发现未解决科学难题的新思路(问题的自动激活),是原型启发思维过程的“神秘”机制。蔡格尼克效应表明,如果工作尚未完成,就会有一种“有始有终”的驱动力使个体对未完成的工作留下深刻印象^[3]。本实验通过回忆出没有解决的发明问题的比率来测量蔡格尼克效应。结果表明,高问题解决能力的个体表现出更明显的蔡格尼克效应。此外,为了加深对这种效应的了解,实验中将不同问题解决能力的个体对于发明问题回忆偏向性也进行了探讨。实验结果表明,高原型启发个体更倾向于对那些创造性的、未解决的问题有更好的记忆保持率。

基于此,从原型启发的认知过程来推测:高原型启发个体对“科学难题”具有更高的“孜孜不倦”的追求,因此对问题有着更深刻的记忆,即更强的蔡格尼克效应。而这种深刻的记忆痕迹会导致个体对头脑中存在的未解决问题的感受性提高(激活的阈限降低),因此在面对原型时更容易激活“科学难题”,也更容易带有目标和方向性地发掘与问题解决思路有关的科学知识原理(原型知识),因此使其发明问题解决能力更强。

具体说来产生这种效应的主要原因为:

(1) 个体记忆的动机强度和兴趣不同。已有研究表明蔡尼克效应受到激励的影响^[38],且高成就动机者表现出更明显的蔡格尼克效应^[39]。根据不同问题解决能力的个体对于发明问题的记忆偏向性的结果可以推测:原型启发思维能力强的人在遇到难以解决的问题时,会更倾向于思考解决问题的方法,对这种难以克服的问题的内在兴趣增强,产生更强烈的蔡格尼克效应,记忆效果更好^[40];反之,遇到较易解决或已经解决的问题时,产生的兴趣不大,在脑中印象不深,记忆情况一般。相反,原型启发思维能力弱的人遇到较简单或已经解决的问题时,在遇到难以解决的问题时,会产生反感、想放弃的念头,而不是继续探究这些问题,所以没有在脑中形成印象,相关的信息容易消退。

(2) 问题激活和原型表征不同。已有的研究表明,在先呈现“问题”后呈现“原型”的范式下,出现发明问题后,被试会在大脑中形成一个问题表征,并对关键技术问题形成一种认知,产生一个相应的“心理需求”或“注意定向”^[13]。这种心理上的准备状态会影响紧随其后出现的原型材料的表征,在这种“心理准备”启动之下的原型表征更容易有方向、有目标地突出与问题解决思路有关的科学原理(关键启发性信息),并恰好与之前在大脑中存在的问题表征形成联系,使被试能够较快地找到解决问题的方法。例如,如果没有宇航服问题的“构造-功能目标”的表征的“启动效应”,被试对虾子也不会形成“环状连接”与“既坚硬又可以弯曲”的连结(一种“构造-功能”式的表征)^[14]。柴可夫斯基也曾形象地说:“灵感是这样一位客人,他不爱拜访懒惰者”^[41]。这充分说明对问题记忆和原型的表征对于利用原型去解决问题至关重要。

由于高原型启发思维能力的个体对“科学的、未解决的问题”的追求偏向导致对问题激活的“兴奋性”提高,产生了更加准确的“心理需求”或“注意定向”。因此,对问题加工时更容易对问题建立一种“未知构造-需求性功能”的表征。如“宇航服如何构造”就是一个“未知构造”表征,“既坚硬又可以弯曲”则是“需求性功能”的表征。而由于问题的激活阈限降低,使得

在原型表征的过程中,个体也能够更容易地将当前原型与已有的未解决问题相匹配,已有研究也表明获得关键启发信息(原型中的关键信息)是影响顿悟的重要因素^[9].此外,问题的激活强度在接下来会在无意之中影响对表面上无关的原型事物进行更恰当的表征,使在表征原型时能够发掘原型材料中所隐含的能够解答问题的科学知识原理(关键启发信息),并去掉非重要信息,把握住关键的“构造-功能”框架.例如,虾壳的“环状结构”是“已知构造”,“既坚硬又可以弯曲”是“特征性功能”.最后,问题表征与原型表征之间共同的功能语义的正确匹配导致了顿悟问题与原型之间的新颖联系,最终获得问题的解决^[14].已有研究发现,问题激活的过程是自动加工的,而原型中“关键启发信息的激活是控制加工”^[11].因此,高原型启发思维能力的个体在“关键启发信息”的激活上更具目标性和方向性,因而也更有效地解决问题.

相对而言,低原型启发思维能力的个体,对“创造性的、未解决的问题”有较差的记忆,激活阈限较高.因此,在对问题记忆比较模糊的情况下阅读原型材料,很难在原型的加工和表征过程中发掘出其中的关键启发信息,难以从多项原型材料的信息中提取对先前呈现问题有启发作用的关键信息,也无法对问题和原型进行“特征-功能”的表征,所以正确率较低.

3.2 蔡格尼克效应个体差异的脑机制

目前为止,这是第一个研究蔡格尼克效应个体差异与大脑结构关系的研究.蔡格尼克效应是创造性研究中较重要且神秘的心理现象,并且从目前的研究中也发现个体产生蔡格尼克效应的能力与其发明问题解决能力有着较为密切的联系.实验结果表明,蔡格尼克效应与双侧的海马(hippocampal)、海马旁回(parahippocampal)的区域性灰质体积存在显著正相关.

先前的研究表明,海马的损伤会对动物的探索性行为产生影响并且海马在动物寻找道路的过程中会表现出激活^[42],这说明海马对于主动地寻找、探索有重要作用.另一项动物研究表明,海马的损伤并不会影响动物对清晰道路的辨认,但会影响他们对不清楚的、模糊道路的确定^[42].此外,也有研究表明海马在自我导向的行为、情景记忆的提取、当前目标的相关事件的研究中也发生激活^[43].大量的研究也证明海马旁回在记忆巩固上起着重要的作用^[44,45].因此,高蔡格尼克效应的个体更能够主动地关注未解

决的问题,对于这种模糊的、未解决问题有着更高的容忍度,因此也就更愿意去探索未解决问题,获得更好的学习和记忆效果.也就是说,高蔡格尼克效应的个体需要更大的海马及海马旁回去维持目标寻求和容忍模糊刺激,而这些对于未解决问题的成功回忆是非常重要的.

此外,海马和海马旁回与蔡格尼克效应的相关还可以从情绪的管理方面来理解.先前的研究表明,海马和海马旁回在压力的管理^[46],情绪的学习^[47]及压力反应^[48]中起着重要的作用.此外,海马在焦虑相关的行为中也起着关键作用^[48],且已有VBM的研究表明,无论在正常的被试群体中还是在焦虑症病人身上,特质焦虑都与海马体积呈显著的正相关^[49,50].这些研究表明,海马和海马旁回是涉及情绪学习及情绪管理的关键区域.已有研究表明低创造性个体有着更明显的结构需要^[51],面对不确定情境时会感受到更明显的压力^[52].未解决的问题对于个体来说是模糊的不确定刺激,在面对这些不确定问题时,高蔡格尼克效应的个体如果想要维持对未解决问题的持续追求就需要能够更好地管理自己的情绪.继而将注意力集中在未解决的问题上,对问题有着更好的表征、加工,以获得更好的记忆.

已有研究表明,未解决问题的脑科学理论主要是右脑假设,即右脑负责编码那些未能解决的问题并负责对提示线索率先做出反应^[6,19-21].已有研究也表明蔡格尼克效应的产生更多的是一种知晓感(feeling of knowing)和直觉^[24],这些都可以理解为右脑在蔡格尼克效应中的作用的原因.与已有假设一致,当前研究也发现了相比于左侧海马(海马旁回),右侧海马(海马旁回)与蔡格尼克效应的分数有着更强的关联,说明右半球对未解决问题的信息更敏感.此外,已有的未解决问题的研究更多的定位到额下回、额中回等区域^[13,25].产生不一致结果的主要原因一方面是已有研究大多是语义较为简单的任务,如遥远联想任务,数字减少任务.而本研究中的实验材料语义更为丰富,因此与记忆相关极高的海马区域受到了激活;另一方面是已有研究大多为fMRI任务态研究,将未解决问题条件与已解决条件进行对比.而本研究中采用的是将未解决问题回忆数直接与区域性灰质体积进行相关,分析方法上的不同导致了结果上的不一致.尽管与已有研究结果存在差异,但海马一直是顿悟问题解决的重要脑区.已有研究表

明,顿悟过程中,新异而有效的联系的形成依赖于海马^[39],海马的活动与当前的目标或者任务有关系^[40].本研究中的海马与蔡格尼克效应的相关,能更好地理解顿悟性问题解决与蔡格尼克效应的关系.高蔡格尼克效应个体有着更高的模糊容忍度和目标寻求能力,并且能在维持对未解决问题的追求中更好地管理自己的情绪,继而对于未解决问题有更多加工,最终获得顿悟性的解决问题.但本研究还有一些不足,如对于蔡格尼克效应发生的特异性方面的探讨.本研究虽然在实验过程中使用了创造性问题和一般问题,但因一般问题的正确率太高,无法获得与创造性无关的记忆提取的指标,因此无法对创造性思维的特异性进行比较.本研究会在今后的研

究中,采用更合适的实验设计和实验材料来弥补这一研究的不足.

4 结论

该研究以发明问题为实验材料,采用“先问题-后原型”的实验范式及基于体素的形态学分析技术探讨了发明问题解决中的蔡格尼克效应.得到以下结论:

(1) 发明问题解决能力与蔡格尼克效应、发明问题记忆偏向性有较大的相关,即问题解决能力强的个体,回忆发明问题及未解决问题的能力也较强.

(2) 蔡格尼克效应的个体差异的脑机制体现于双侧的海马(hippocampal)、海马旁回(parahippocampal)区域性灰质体积的不同.

参考文献

- 1 Dietrich A, Kanso R. A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychol Bull*, 2010, 136: 822–848
- 2 Wallas G. *The Art of Thought*. Orlando: Harcourt, Brace and Company, 1926
- 3 Zeigarnik B. Über das Behalten von erledigten und unerledigten Handlungen. *Psycho Forsch*, 1927, 9: 1–85
- 4 Beeman M, Chiarello C. *Right Hemisphere Language Comprehension: Perspectives From Cognitive Neuroscience*. Mahwah: Psychology Press, 1998
- 5 Yaniv I, Meyer D E, Davidson N S. Dynamic memory processes in retrieving answers to questions: Recall failures, judgments of knowing, and acquisition of information. *J Exp Psychol*, 1995, 21: 1509
- 6 Tang X C, Pang J Y, Luo J. Zeigarnik effect in insight problem solving: Hemispheric difference in brain activities following problem solving and during hint presentation (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2009, 54: 3464–3474 [唐晓晨, 庞娇艳, 罗劲. 顿悟中的蔡格尼克效应: 左右脑在解题失败与提示信息加工时的活动差异. *科学通报*, 2009, 54: 3464–3474]
- 7 Kaplan C A, Simon H A. In search of insight. *Cognitive Psychol*, 1990, 22: 374–419
- 8 Luo J, Li W, Qiu J, et al. Neural basis of scientific innovation induced by heuristic prototype. *PLoS One*, 2013, 8: e49231
- 9 Zhang Q L, Qiu J. Insight and activation of heuristic information in prototypal matters (in Chinese). *Psychol Sci*, 2005, 28: 6–91 [张庆林, 邱江. 顿悟与源事件中启发信息的激活. *心理科学*, 2005, 28: 6–91]
- 10 Zhang Q L, Qiu J, Cao G K. A review and hypothesis about the cognitive mechanism of insight (in Chinese). *Psychol Sci*, 2005, 27: 1435–1437 [张庆林, 邱江, 曹贵康. 顿悟认知机制的研究述评与理论构想. *心理科学*, 2005, 27: 1435–1437]
- 11 Wu Z Z, Qiu J, Zhang Q L. Activation of heuristically matters in logograph insight problem solving (in Chinese). *Psychol Dev Edu*, 2008, 1: 31–35 [吴真真, 邱江, 张庆林. 顿悟的原型启发效应机制探索. *心理发展与教育*, 2008, 1: 31–35]
- 12 Zhu D, Luo J L, Zhu H X, et al. The effect of prototype elicitation in scientific inventional creativity thinking (in Chinese). *J Southwest Univ (Soc Sci Ed)*, 2011, 37: 144–149 [朱丹, 罗俊龙, 朱海雪, 等. 科学发明创造思维过程中的原型启发效应. *西南大学学报(社会科学版)*, 2011, 37: 144–149]
- 13 Zhu H X, Luo J L, Yang C J, et al. Prototype position effect in inventional problem-solving. *Psychol Sci*, 2012, 35: 70–75 [朱海雪, 罗俊龙, 杨春娟, 等. 发明创造问题解决中的原型位置效应. *心理科学*, 2012, 35: 70–75]
- 14 Zhang Q L, Tian Y, Qiu J. Automatic activation of prototype representation in insight: the source of inspiration. *J Southwest Univ (Soc Sci Ed)*, 2012, 34: 1–7 [张庆林, 田燕, 邱江. 顿悟中原型激活的大脑自动响应机制: 灵感机制初探. *西南大学学报(社会科学版)*, 2012, 34: 1–7]
- 15 Dandan T, Haixue Z, Wenfu L, et al. Brain activity in using heuristic prototype to solve insightful problems. *Behav Brain Res*, 2013, 253: 139–144
- 16 McLain D L. The MSTAT-I: A new measure of an individual's tolerance for ambiguity. *Educ Psychol Meas*, 1993, 53: 183
- 17 Zenasni F, Besançon M, Lubart T. Creativity and tolerance of ambiguity: An empirical study. *J Creat Behav*, 2008, 42: 61–73
- 18 Yurtsever G. Negotiators' profit predicted by cognitive reappraisal, suppression of emotions, misrepresentation of information, and tolerance of ambiguity. *Percept Mot Skills*, 2008, 106: 590–608

- 19 Fiore S M, Schooler J W. Right hemisphere contributions to creative problem solving: Converging evidence for divergent thinking. In: Beeman M, Chiarello C, eds. *Right Hemisphere Language Comprehension: Perspectives From Cognitive Neuroscience*. Mahwah: Psychology Press, 1998. 349–371
- 20 Bowden E M, Beeman M J. Getting the right idea: Semantic activation in the right hemisphere may help solve insight problems. *Psychol Sci*, 1998, 9: 435–440
- 21 Bowden E M, Beeman M J. Aha! Insight experience correlates with solution activation in the right hemisphere. *Psychonomic Bull Rev*, 2003, 10: 730–737
- 22 Hammadi A, Qureishi F K. Relationship between the Zeigarnik effect and consumer attention in advertisement. *World J Social Sci*, 2013, 3: 131–143
- 23 Mäntylä T, Sgaramella T. Interrupting intentions: Zeigarnik-like effects in prospective memory. *Psychol Res*, 1997, 60: 192–199
- 24 James I A, Kendell K. Unfinished processing in the emotional disorders: The Zeigarnik effect. *Behav Cogn Psychother*, 1997, 25: 329–337
- 25 Anderson J R, Anderson J F, Ferris J L, et al. Lateral inferior prefrontal cortex and anterior cingulate cortex are engaged at different stages in the solution of insight problems. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106: 10799–10804
- 26 Darsaud A, Wagner U, Baletau E, et al. Neural precursors of delayed insight. *J Cogn Neurosci*, 2011, 23: 1900–1910
- 27 Shiurkute A. The “Zeigarnik effect” in schizophrenic patients with obsessions. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 1992, 93: 63–65
- 28 Jacoby J. The Zeigarnik effect in advertising. In: *Proceedings of the Third Annual Conference of the Association for Consumer Research*. Chicago, 1972
- 29 Ecker W, Engelkamp J. Memory for actions in obsessive-compulsive disorder. *Behav Cogn Psychother*, 1995, 23: 349–371
- 30 Takeuchi H, Taki Y, Sassa Y, et al. Regional gray matter density associated with emotional intelligence: Evidence from voxel-based morphometry. *Hum Brain Mapp*, 2011, 32: 1497–1510
- 31 Haier R J, Jung R E, Yeo R A, et al. Structural brain variation and general intelligence. *Neuroimage*, 2004, 23: 425–433
- 32 Wang D, Di M, Qian M. A report on the third revision of combined raven’s test (CRT- C3) for children in China (in Chinese). *Chin J Clin Psychol*, 2008, 15: 559–568 [王栋, 狄敏, 钱明. 联合型瑞文测验中国儿童常模第三次修订. 中国临床心理学杂志, 2008, 15: 559–568]
- 33 Wang D, Qian M. The revised report of the combined Raven’s test in countryside of China (in Chinese). *Rep Psychol Sci*, 1989, 5: 23–27 [王栋, 钱明. 瑞文测验联合型中国农村(CRT-RC)修订报告. 心理科学通讯, 1989, 5: 23–27]
- 34 Van Tol M J, Van der Wee N J A, Van den Heuvel O A, et al. Regional brain volume in depression and anxiety disorders. *Arch Gen Psychiat*, 2010, 67: 1002–1011
- 35 Ashburner J. A fast diffeomorphic image registration algorithm. *Neuroimage*, 2007, 38: 95–113
- 36 Hutton C, Draganski B, Ashburner J, et al. A comparison between voxel-based cortical thickness and voxel-based morphometry in normal aging. *Neuroimage*, 2009, 48: 371–380
- 37 Hayasaka S, Phan K L, Liberzon I, et al. Nonstationary cluster-size inference with random field and permutation methods. *Neuroimage*, 2004, 22: 676–687
- 38 Reeve J, Cole S G, Olson B C. The Zeigarnik effect and intrinsic motivation: Are they the same? *Motiv Emotion*, 1986, 10: 233–245
- 39 Liu X M, Wang L R. The experiment for exploring Zegarnik effect’s generation reason (in Chinese). *Psychol Sci*, 1994, 2: 116–117 [刘晓明, 王丽荣. 蔡戈尼克效应生成原因的实验探索. 心理科学, 1994, 2: 116–117]
- 40 Li Y D, Ma W J, Lou J L, et al. Competition and emotion impact on effect of prototype elicitation during insight problem solving (in Chinese). *Acta Psychol Sin*, 2012, 44: 1–13 [李亚丹, 马文娟, 罗俊龙, 等. 竞争与情绪对顿悟的原型启发效应的影响. 心理学报, 2012, 44: 1–13]
- 41 Zhang H, Liu J, Zhang Q. Neural representations for the generation of inventive conceptions inspired by adaptive feature optimization of biological species. *Cortex*, 2014, 50: 162–173
- 42 Luo J. Neural correlates of insight. *Acta Psychol Sin*, 2004, 36: 219–234 [罗劲. 顿悟的大脑机制. 心理学报, 2004, 36: 219–234]
- 43 Luo J, Niki K. Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus*, 2003, 13: 316–323
- 44 Van Strien N, Cappaert N, Witter M. The anatomy of memory: An interactive overview of the parahippocampal-hippocampal network. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10: 272–282
- 45 Wang S H, Morris R G. Hippocampal-neocortical interactions in memory formation, consolidation, and reconsolidation. *Annu Rev Psychol*, 2010, 61: 49–79
- 46 Ulrich-Lai Y M, Herman J P. Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses. *Nat Rev Neurosci*, 2009, 10: 397–409
- 47 LaBar K S, Cabeza R. Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nat Rev Neurosci*, 2006, 7: 54–64

- 48 Vachon-Pressseau E, Roy M, Martel M O, et al. The stress model of chronic pain: Evidence from basal cortisol and hippocampal structure and function in humans. *Brain*, 2013, 136: 815–827
- 49 Baur V, Hänggi J, Jäncke L. Volumetric associations between uncinate fasciculus, amygdala, and trait anxiety. *BMC Neurosci*, 2012, 13: 4
- 50 Rusch B D, Abercrombie H C, Oakes T R, et al. Hippocampal morphometry in depressed patients and control subjects: Relations to anxiety symptoms. *Biol Psychiatry*, 2001, 50: 960–964
- 51 Rietzschel E F, De Dreu C K, Nijstad B A. Personal need for structure and creative performance: The moderating influence of fear of invalidity. *Pers Soc Psychol Bull*, 2007, 33: 855–866
- 52 Thompson M M, Naccarato M E, Parker K C H, et al. The personal need for structure and personal fear of invalidity measures: Historical perspectives, current applications, and future directions. In: Moskowitz G B, ed. *Cognitive Social Psychology: The Princeton Symposium on the Legacy and Future of Social Cognition*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2001. 19–39

Zeigarnik effect in scientific inventions creations problem solving

TONG DanDan, YANG WenJing, LI YaDan, GUO YaNan, QIU Jiang & ZHANG QingLin

Department of Psychology, Key Laboratory of Cognition and Personality (SWU), Ministry of Education, Chongqing 400715, China;

Zeigarnik effect means that participants tend to recall the unfinished/ unsolved tasks more frequently than the finished/solved ones during a subsequent memory task. To get a comprehensive understanding of the relationship between Zeigarnik effect and insightful problem solving, we need to adopt more research methods to explore the brain mechanisms of Zeigarnik effect. People typically go through a period of mental impasses and then are inspired by some heuristic knowledge in real-life scientific problem solving. For example, Newton obtained insights into the law of universal gravitation after observing a ripe apple dropping from the tree which he was sitting under. Based on this, Zhang Qinglin proposed that heuristic strategy is one of the usual strategies in problem solving. Based on the “prototype elicitation” theory, The present study selected 20 scientific inventions-creations problems as the material and adopted the “10 vs 10 learning and testing” as well as “testing-recalling” experimental paradigm. Besides, using voxel-based morphometry (VBM) and the score of “testing-recalling”, we investigated the correlation between the zagarnik effect and regional grey matter volume (rGMV) in healthy subjects. The result showed that the Zeigarnik effect was to be positively correlated with rGMV in the bilateral Hippocampus and Parahippocampus. Based on these results above, we can speculated that bigger hippocampus and parahippocampal allow people to maintain target seeking as well as better tolerate ambiguity stimulation.

scientific problems, heuristic prototype, Zeigarnik effect, voxel-based morphometry, hippocampus

doi: 10.1360/N972015-00508