

情绪和记忆的相互作用

李雪冰^{1,3} 罗跃嘉^{1,2}

(¹ 中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101)

(² 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875) (³ 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 情绪与记忆的关系一直是社会认知神经科学研究的重要课题。该文简要介绍了近年来国内外有关情绪和记忆的研究, 着重讨论了情绪在记忆中的作用、情绪影响记忆的途径以及参与情绪和记忆交互作用的脑区; 特别强调了情绪唤醒对杏仁核的影响, 以及杏仁核与其它内侧颞叶结构和前额叶的相互作用。

关键词 长时记忆, 工作记忆, 情绪内容, 情绪状态, 杏仁核。

分类号 B842

在探讨情绪和记忆的关系时, 常常提出一个关键的问题: 情绪怎样影响我们的记忆? 什么情绪可能加强我们的记忆? 什么情绪通常削弱我们的记忆? 当我们考虑到情绪的复杂性时就会发现这是一些很难回答的问题。首先对这些问题的回答中需要包含两个截然不同的因素: 所要回忆的信息本身所包含的情绪内容以及学习和记忆时的心境 (mood), 即通常所说的情绪状态。另外, 在各种情绪理论中, 情绪通常被看作包含着两个垂直的维度: 效价和唤醒度。而记忆按照保持信息时间的长短又可分为长时记忆 (long-term memory) 和短时记忆 (short-term memory)。这样使得情绪和记忆的关系问题变得越发复杂。本文尝试着将近几年此方面的重要研究结果加以简单的评述, 特别强调了情绪唤醒对杏仁核的影响, 以及杏仁核与其它内侧颞叶结构和前额叶的相互作用。文章中包含了多种认知神经科学的研究方法, 如对情绪障碍或缺损病人的研究, 神经生理学以及神经影像学的研究。

1 情绪和长时记忆

关于情绪内容在长时记忆中的作用, 有着一些经典的观点。例如, 通常我们对有情绪色彩的事比枯燥的事记忆得更加深刻; 对愉快的事会比不愉快的事记得更好。在许多采用自我报告方法的研究中, 被试都宣称他们能够清楚记住情绪事件, 并且与无情绪的事件相比, 他们能生动地提取情绪事件

的各种细节^[1]。最近的研究焦点就被集中在事件的情绪内容是否能影响我们对事件细节的记忆。Kensinger等人^[2]让被试学习包含中性物体 (如气压计) 和负性物体 (如手榴弹) 的两类图片, 图片的学习时间有三种: 250ms、500ms、1000ms。再认时, 被试需要判断图片是否“相同”、“相似”或“新的”。结果显示, 被试对负性图片比中性图片能更加准确地加以判断, 并且当图片的学习时间足够长时, 情绪内容对记忆的这种帮助就更为明显。就是说, 一旦给予充分的加工时间, 负性内容就能明显地提高对物体细节记忆的可能性。为了进一步探讨效价和唤醒度对记忆的作用, 他们还采用fMRI和行为学方法, 比较其效价和唤醒度, 他们发现唤醒信息和非唤醒信息 (两者效价相同) 对于情绪记忆的增强效应有着截然不同的认知和神经基础^[3]。前者依赖于杏仁核—海马通路, 后者依赖于前额皮层—海马通路, 暗示了调控机制的参与。行为学研究也得出, 在分心任务中, 并存的任务降低了非唤醒词的记忆增强效应。然而对唤醒词的记忆增强是自动加工的, 即使在编码资源被第二个任务所转移的情况下。

看起来, 记忆是根据愉快和不愉快、唤醒和非唤醒的情绪内容区别对待的, 但实际上, 这个一般规则会随着年龄和性别差异发生改变。Comblain等人调查了年龄在与情绪相关的自传式记忆 (autobiographical memory) 中的作用^[4]。实验中, 青年人和老年人被要求对正性、中性和负性三种情绪类型的事件各回忆出两件。之后通过比较不同感

收稿日期: 2006-08-25

通讯作者: 罗跃嘉, E-mail: luoyj@psych.ac.cn

觉通道（如视觉、味觉）和情境（如地点、时间）的特征，发现不论是青年人还是老年人，他们的情绪记忆（不论正性还是负性）都比中性记忆包含了更多的感觉和情境上的细节。然而，老年人的负性记忆却联系着一个非常高的积极感受（positive feelings）。这样的结果说明在老年人和青年人中，情绪对自传式记忆的影响是相似的，不同的是老年人倾向于采用一个更加积极的观点来重新评估负性记忆。心理学的研究已经发现女性比男性能更好地记住情绪事件，fMRI 研究为此提供了神经解剖学的客观证据。Canli 等人要求被试评估中性和负性图片的情绪唤醒度，同时进行 fMRI 扫描。3 周后进行再认测验。结果情绪唤醒度高的图片记忆比唤醒度低的好，女性比男性好^[5]。观察功能像发现，对之后证明是成功记忆的图片进行编码时，男性和女性激活了不同的神经环路。男性比女性更多地激活了右半球杏仁核，而女性较男性却更少地激活了左侧杏仁核。当进行情绪唤醒评估和情绪唤醒图片的后继记忆时，女性参与的脑结构更多，这可能就是女性的情绪记忆强于男性的神经基础。

在探讨情绪状态对记忆的影响时，情绪障碍特别是抑郁症的研究是十分必要的，既有助于对情绪障碍本身的了解，又考察了情绪与记忆的脑机制。大量研究显示情绪障碍与情绪刺激的异常加工有关，并且这种异常加工会易化负性情绪的产生，促进情绪障碍者对抑郁事件的回忆。近年来，研究者广泛调查了这种异常加工的神经机制，发现抑郁症病人对负性情绪材料的记忆增强。这被认为是一种与抑郁心境相关的情绪内容识别能力提高的现象，也就是所谓的“期待效应”或“心境一致性效应”。事件相关电位（event-related potential, ERP）的研究表明，在重度抑郁症病人的记忆编码阶段，正性词诱发的 ERP 波幅要明显低于负性词和中性词^[6]。将刺激材料从情绪词换成表情面孔后，也得出相似的结果，在记忆的保持阶段，正常组对负性面孔表现出明显降低的慢波（slow wave, SW），而抑郁组的 SW 在负性面孔和正性面孔间没有明显差异，这说明抑郁症病人加强了对负性面孔的加工^[7]。还有证据表明，与正常被试相比，抑郁症病人的情绪记忆相关脑结构（如，杏仁核，前额皮层）表现出对悲伤面孔的神经活动增强，高兴面孔的神经活动减弱^[8]。这些结果均提示抑郁症病人的认知缺陷可能是源于大脑对正性信息加工的减弱，对负性信息加工

的增强。

2 情绪和工作记忆

Baddeley 和 Hitch 在模拟短时记忆障碍的实验基础上提出了工作记忆的三系统概念，用“工作记忆”（working memory, WM）替代原来的“短时记忆”（short-term memory, STM）概念。Baddeley 认为工作记忆是一种系统，它为言语理解、学习和推理等复杂任务提供临时的储存空间和加工时所必需的信息。根据 Baddeley 的工作记忆的认知结构模型，至少存在两种类型的工作记忆系统——词语工作记忆（verbal working memory）和空间工作记忆（spatial working memory），分别负责处理词语和空间信息，二者是双分离的^[9]。

情绪和工作记忆的研究主要集中在情绪状态上，典型的研究方法是，先诱导被试进入正性或负性情绪状态，然后再完成工作记忆任务。但由于对正常人负性情绪的研究有助于揭示焦虑和抑郁等心理疾病的机理，于是现有的研究主要集中在负性情绪对工作记忆的影响上。90 年代初，Eysenck 和 Calvo 提出的过程效能理论（processing efficiency theory）^[10]是解释焦虑等负性情绪怎样影响认知过程的重要理论。他们通过大量的实验证明焦虑对认知的影响是工作记忆受损引起的。这一结论可以简单解释为，焦虑被试会过多关注自己的强制思想、担忧和负面认知等焦虑反应。这种与当前任务无关的反应会分散个体的注意力，从而消耗有限的工作记忆资源，导致要么降低正确率，要么增加反应时间。

以这些假说为基础的研究发现，诱导的负性情绪对正常人的词语工作记忆和空间工作记忆的影响是不一样的^[11,12]。Lavric 等人通过威胁诱导焦虑，并对词语和空间工作记忆任务（n-back 任务）的难度加以匹配^[11]，结果发现诱导的焦虑仅仅损伤了空间 n-back 任务的表现，并未影响到词语任务，可见负性情绪选择性地影响了空间工作记忆。但是，导致这种选择性影响的机制还不清楚。Shackman 假设情绪和记忆的冲突可能是因为皮层的功能重叠，如负性情绪和空间工作记忆都存在右半球优势，故而产生相互影响^[12]。Lavric 则认为冲突也可能不是针对皮层的区域竞争，而是对某种认知资源的竞争，如注意资源^[11]。负性情绪占用了大量的注意资源，而这种注意资源在空间工作记忆中发挥着

重要的作用,因此空间工作记忆功能受损。ERP的研究为此提供了一些的神经生理学证据。Li等人在一个延迟样本匹配任务中,使用图片诱导正常大学生的负性情绪,对工作记忆保持阶段的ERP加以分析。结果发现头皮前部的晚期正成分(late positive components, LPC)只在空间任务中受到负性情绪的影响,平均波幅显著降低;在词语任务中,则不受情绪的影响^[13]。这说明负性情绪选择性地影响了空间工作记忆的保持功能。另外,这种对空间工作记忆的影响从刺激消失后200ms就已出现。P200成分被认为与早期注意资源分配有关,因此负性情绪对空间工作记忆的影响可能是由于负性情绪限制了空间工作记忆中所需的注意资源造成的。

对抑郁症病人的研究结果也支持这种选择性影响。Weiland-Fiedler等人发现抑郁症病人完全康复后仍存在认知缺陷,主要体现在空间工作记忆上,被解释为由于抑郁症主要造成右半球的损伤,因此与右半球相关的空间工作记忆更多的受到影响^[14]。但也有词语和空间工作记忆功能均减退的报道^[15]。这种差异可能和被试的选择有关,前者考察的是康复后的重度抑郁症病人,而后者考察的是治疗期的躁郁症病人。

3 参与情绪和记忆相互作用的脑结构

探讨情绪和记忆相互作用脑机制的研究主要集中在位于内侧颞叶的2个记忆系统:杏仁核和海马。杏仁核是情绪记忆最重要的脑结构,被认为是整个情绪记忆神经网络的核心。经典的观点认为杏仁核主要在情绪记忆的编码和编码后阶段发挥作用,当情绪事件发生时,编码阶段创造了最初的记忆表征;事件结束后,巩固阶段继续影响着记忆表征,直到巩固阶段结束前,情绪对记忆的影响一直是随着时间的延长而增强的^[16]。杏仁核对情绪记忆编码的影响是通过情绪刺激的注意增强来实现的,增多的注意资源使得情绪刺激更好地获得记忆表征。神经影像学研究显示在加工情绪相关的面孔,特别是带有恐惧表情的面孔时,杏仁核会明显激活,这被认为与对情绪刺激的注意增强有关^[17]。新近,Amaral等人发现杏仁核和感觉皮层区有着相应的联系^[18]。在对恐惧面孔进行反应时,杏仁核表现出的活动非常类似于视觉皮层的活动,这为杏仁核影响注意提供了确切的证据。杏仁核能对环境中快速变化的情绪刺激进行自动加工,在刺激加工的

早期获得情绪信息,然后通过反馈来加强情绪事件的知觉编码,进而影响了对情绪刺激的注意加工^[19]。

记忆的编码后加工,即记忆巩固,主要是在海马中完成的。海马对情境记忆(episodic memory)是必不可少的,在这里它控制了被人类称作“记忆”的东西,就是说按“意愿”去回忆事件。最初杏仁核和海马被认为是归属于两个独立的记忆系统,有着其特定的功能。然而在情绪状态下,两个系统进行着精细且重要的交互作用。情绪唤醒诱发了应激激素的释放,应激激素激活了杏仁核的肾上腺素受体,这些受体的活动操控了激素对海马巩固效应的影响^[20]。Nature报告了一个著名的神经递质调控研究,发现对正常人注射 β -肾上腺受体阻断剂,会削弱情境记忆中情绪信息的编码和保持,这种结果就和直接损伤杏仁核是一样的^[21]。可见,杏仁核能够调节海马依存性记忆的保存,而当情绪刺激发生时海马又能对事件的情绪色彩形成心境表征进而影响杏仁核的反应。尽管海马和杏仁核是两个独立的记忆系统,但是当情绪遭遇记忆时,他们便协同工作^[22]。

并不是只有内侧颞叶系统被卷入这个复杂的交互作用当中,部分前额皮层(prefrontal cortex, PFC)也参与了情绪记忆。Sergeyev等人使用fMRI来研究不同表情(愉快、中性、恐惧)面孔的编码对PFC活动的影响^[23]。结果显示右侧PFC的激活提示对面孔的记忆,与表情无关;而左侧PFC的激活却与表情面孔的成功编码有关。这再一次证明了右背外侧前额皮层在非语言材料的成功编码中的作用,而左背外侧前额皮层是情绪与记忆整合的地方。在另一项研究中,已知在负性情绪中左侧额叶皮层眶回(left orbitofrontal cortex, LOFC)活动增强,而这种增强与对正性情绪信息的记忆减弱有关。于是Schutter和van Honk假设如果抑制了LOFC,那么正性情绪的记忆就应该增强^[24]。他们采用了重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)来抑制LOFC的活动,结果发现rTMS实验组对高兴面孔的记忆明显高于控制组,证实了他们的假设:LOFC确实在正性情绪记忆中发挥着作用。

另外,在这个杏仁核为基础的恐惧记忆网络中,小脑也发挥着作用。起初的证据来自于动物实验,Sacchetti等在小鼠恐惧记忆的巩固阶段,对小

鼠的小脑中介核 (interpositus nucleus) 和小脑蚓 (vermis) 进行河豚毒素注射, 使其失活, 于是此类小鼠的恐惧记忆形成时间和恐惧条件反射建立时间都大大延长^[25]。进一步研究发现在记忆巩固阶段, 小鼠小脑的蒲肯野细胞和平行纤维间的突触效应增强^[26]。Sakai 等通过 PET 对恐惧症病人的研究得到了第一个人类神经解剖学的证据, 他们发现恐惧症病人与正常人相比, 除了杏仁核、海马、丘脑以外, 小脑的葡萄糖摄取水平也显著升高^[27]。

4 小结与展望

尽管我们对情绪和记忆相互作用的许多细节还很模糊, 但我们对此的认识正在不断深入。杏仁核是情绪学习和记忆的重要脑结构, 情绪对记忆影响的两种方式都是在杏仁核上完成的: 一是通过应激激素, 当情绪唤醒时皮质醇等激素释放, 作用于杏仁核; 二是直接通过杏仁核和其他脑结构的联系, 来改变这些脑结构的的活动, 特别是海马和前额皮层。以往的研究认为情绪和记忆的相互作用只是发生在信息的编码和记忆巩固阶段, 但是随着 ERP 和事件相关 fMRI 实验范式的应用, 已经确切地证实了它们的相互作用还发生在记忆的提取阶段。另外, 最近一个神经影像学研究又给了我们新的启示, 不同情绪状态下的记忆可能是由不同的大脑回路来分别完成的^[28]。

总之, 近几年认知神经科学在情绪与记忆方面的研究已经证实了早期在动物身上所得出的结果, 初步了解了一些情绪记忆的神经机制, 并为进一步研究扩展了思路。在未来研究中, 科研工作者所面临的挑战就是要将各种实验方法所得出的趋于一致的结果加以联结贯通, 整合出情绪记忆的认知结构模型, 这将在很大程度上推动“情感认知神经科学”这一崭新的研究领域的发展。

参考文献

- [1] Kensinger E A, Corkin S. Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words? *Memory and Cognition*, 2003, 31: 1169~1180
- [2] Kensinger E A, Garoff-Eaton R J, Schacter D L. Memory for specific visual details can be enhanced by negative arousing content. *Journal of Memory and Language*, 2006, 54: 99~112
- [3] Kensinger E A, Corkin S. Two routes to emotional memory: Distinct processes for valence and arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2004, 101: 3310~3315
- [4] Comblain C, D'Argembeau A, Van der Linden M. Phenomenal characteristics of autobiographical memories for emotional and neutral events in older and younger adults. *Experimental Aging Research*, 2005, 31: 173~89
- [5] Canli T, Desmond J E, Zhao Z, et al. Sex differences in the neural basis of emotional memories. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99: 10789~10794
- [6] Shestyuk A Y, Deldin P J, Brand J E, et al. Reduced sustained brain activity during processing of positive emotional stimuli in major depression. *Biological Psychiatry*, 2005, 57: 1089~1096
- [7] Deveney C M, Deldin P J. Memory of faces: a slow wave ERP study of major depression. *Emotion*, 2004, 4: 295~304
- [8] Leppanen J M. Emotional information processing in mood disorders: a review of behavioral and neuroimaging findings. *Current Opinion in Psychiatry*, 2006, 19: 34~39
- [9] Baddeley A. Working memory. *Science*, 1992, 225: 556~592
- [10] Eysenck M W, Calvo M G. Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 1992, 6: 409~434
- [11] Lavric A, Rippon G, Gray J R. Threat-evoked anxiety disrupts spatial working memory performance: an attentional account. *Cognitive therapy and research*, 2003, 27: 498~504
- [12] Shackman A J, Sarinopoulos I, Maxwell J S, et al. Anxiety Selectively Disrupts Visuospatial Working Memory. *Emotion*, 2006, 6: 40~61
- [13] Li X B, Li X Y, Luo Y J. Selective effect of negative emotion on spatial and verbal working memory: An ERP study. *Proceedings of ICNN'05, IEEE Press*, 2005. 1284~1289
- [14] Weiland-Fiedler P, Erickson K, Waldeck T, et al. Evidence for continuing neuropsychological impairments in depression. *Journal of Affect Disorder*, 2004, 82: 253~258
- [15] Quraishi S, Frangou S. Neuropsychology of bipolar disorder: a review. *Journal of Affect Disorder*, 2002, 72: 209~226
- [16] Hamann S. Cognitive and neural mechanisms of emotional memory. *Trends in Cognitive Science*, 2001, 5: 394~400.
- [17] Yang T T, Menon V, Eliez S, et al. Amygdalar activation associated with positive and negative facial expressions. *Neuroreport*, 2002, 13: 1737~1741

- [18] Amaral D G, Behniea H, Kelly J L. Topographic organization of projections from the amygdala to the visual cortex in the macaque monkey. *Neuroscience*, 2003, 118: 1099~1120
- [19] Williams M A, Morris A P, McGlone F, et al. Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression. *Journal of Neuroscience*, 2004, 24: 2898~2904
- [20] McGaugh J L, Roozendaal B. Role of adrenal stress hormones in the forming of lasting memories in the brain. *Current Opinion of Neurobiology*, 2002, 12: 205~210
- [21] Cahill L, Prins B, Weber M, et al. β -adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature*, 1994, 371: 702~704
- [22] Phelps E A. Human emotion and memory: interactions of the amygdala and hippocampal complex. *Neurobiology*, 2004, 14: 198~202
- [23] Sergerie K, Lepage M, Armony J L. A face to remember: emotional expression modulates prefrontal activity during memory formation. *Neuroimage*, 2005, 24: 580~585
- [24] Schutter D J, van Honk J. Increased positive emotional memory after repetitive transcranial magnetic stimulation over the orbitofrontal cortex. *Journal of Psychiatry Neuroscience*, 2006, 31: 101~104
- [25] Sacchetti B, Baldi E, Lorenzini C A, et al. Cerebellar role in fear-conditioning consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2002, 99: 8406~8411
- [26] Sacchetti B, Scelfo B, Strata P. The cerebellum: synaptic changes and fear conditioning. *Neuroscientist*, 2005, 11: 217~227
- [27] Sakai Y, Kumano H, Nishikawa M, et al. Cerebral glucose metabolism associated with a fear network in panic disorder. *Neuroreport*, 2005, 16: 927~931
- [28] Erk S, Martin S, Walter H. Emotional context during encoding of neutral items modulates brain activation not only during encoding but also during recognition. *Neuroimage*, 2005, 26: 829~838

Interaction of Emotion and Memory

Li Xuebing^{1,3} Luo Yuejia^{1,2}

¹ (Key laboratory of Mental Health, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

² (State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

³ (The Graduate School of The Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: As to the relationship between emotion and memory, it had been the focus of research in social cognitive neuroscience. This article mainly introduced three aspects of researches on emotion and memory: the role of emotion in memory, the way of emotion effects on memory and brain regions involved in the emotion-memory interaction. The affection of emotional arousal to amygdale, and the interaction among amygdale, medial temporal lobe and prefrontal cortex were specially emphasized

Key words: long-term memory, working memory, emotion content, emotional state, amygdale.