

睡眠和记忆之间关系的研究*

宋国萍**^{1,2} 苗丹民³ 皇甫恩³

(¹中国科学院心理研究所,北京,100101)(²北京军区467医院,石家庄,050800)

(³第四军医大学航空航天医学系心理教研室,西安,710032)

摘要 睡眠和记忆是人类重要的功能,人们对于二者之间的关系一直非常感兴趣。本文综述了近年来睡眠和记忆之间关系研究的主要成果,从动物和人的不同角度进行讨论,并进一步综述了近年有关事件相关电位和功能成像等的研究成果。在有关人的探讨中,进一步讨论了快波睡眠、慢波睡眠、睡眠的组织、睡眠缺失等对记忆的影响。

关键词: 睡眠 记忆 动物 人类 快波睡眠 慢波睡眠 功能成像

睡眠和记忆是人类两个重要的功能,有关睡眠和记忆之间关系的研究大约有两百年的历史。1953年,随着快速眼动睡眠(rapid eye movement sleep, REM)的发现,睡眠和记忆之间关系的问题又一次被提出。目前,随着新的理论和研究方法的出现,有关研究再次成为热点。

1 有关动物的研究

该领域研究最多的是Smith^[1],经过多年研究认为,REM同记忆关系密切:大鼠学习后,REM增多,学会后,REM减少,表明大脑在REM积极地进行加工;REM仅在学习后的几小时内增多,且只持续一段时间,我们将这段REM增多的时间段称为异相睡眠窗(paradoxical sleep window, PSW);在PSW进行睡眠剥夺(sleep deprivation, SD),可以部分或者完全阻止记忆的进行且降低随后记忆测验的成绩;PSW的长短及开始时间同记忆的任务类型、学习频率、动物类别等有关。因此他认为,学习后记忆的巩固需要REM,并且机体调整其REM以适应记忆巩固所需。相反,如果大鼠学习后给予SD,在许多作业上的表现将降低。例如,大鼠在八臂迷宫中训练10d,在学习后的不同时间点给予4hSD,分别为学习后立即SD,4h,8h,13h,24h后。同其他组相比,学习后立即SD组表现出明显的记忆损害^[2]。

近来,Hennevin研究大脑的活动,表明学习和可塑性在REM发生:对在清醒期形成的联系进行反应;形成新联系,并在随后的清醒期对之反应;加强先前的学习来增强随后清醒期行为。在清醒时形成的神经活动的可塑性变化在REM也出现。

但并非所有的学习任务都需要REM,具体哪些任务同REM有关尚未完全清楚。在大鼠的有关实验中,慢波睡眠(slow wave sleep, SWS)期,海马中“位置细胞”的放电同清醒时学习该任务时的放电相同^[3],表明SWS在记忆的巩固中也有重要的作用。

2 有关人的研究

2.1 REM的作用

大多数有关人类睡眠和记忆关系的研究也关注REM。学习某种任务后REM增加,且学习时激活的脑区在REM时又被激活。Karni^[4]等发现,REMSD阻止了程序记忆(procedure memory)。给被试呈现背景为短线的屏幕,短线水平或

垂直排列,靶子L或T在固定位置。靶子呈现16ms后白屏,然后掩蔽16ms,再出现白屏,进行反应。要求被试对短线的方向和靶字母进行反应。刺激间隔时间(ISI)为被试回答80%正确时的间隔时间。若被试在下午学习,第二天进行测试,则可见ISI从97ms减少为74ms。相反,如果被试剥夺一夜的REM,第二天重测时,不见这种提高,而剥夺SWS则没有上述现象,故认为记忆的巩固更依赖于REM。

REMSD导致学习新近信息的障碍,REM减少是记忆力下降的一个原因。REMSD对外显记忆^[5](declarative/explicit memory)无影响,但是对内隐记忆(implicit/procedural memory)有影响,例如,词干补笔任务和河内塔任务等,甚至在REMSD结束恢复睡眠1w后再测,也发现内隐记忆任务成绩下降。

电生理和行为学实验表明:相关信息的加工可能主要在REM;新的联系主要发生在REM;先前学习过的信息在REM重新加工。

2.2 SWS的作用

有学者认为,REM同记忆之间的关系并没有想象的那样密切,无论对于有意义的材料还是对于无意义的材料,REM并没有优于SWS。还有学者认为对于记忆最主要的是在睡眠的开始阶段,此时主要为SWS。海马的典型释放波(尖峰和微小的波)在SWS和清醒安静时都存在。5名被试SD65h后恢复睡眠的第一个阶段主要为SWS^[6]。因此,SWS对于记忆而言也是非常重要的。

SWSSD对外显记忆影响显著^[5]。SWSSD导致的记忆障碍可能同材料从短时记忆到长时记忆的巩固有关。SWSSD不影响长时记忆,也就是说,在SWS,刺激信息仍能够登记,但不能向长时记忆转化。

2.3 睡眠和记忆

目前,人们普遍认为,记忆效果不仅仅依赖于某一种睡眠,无论REM还是SWS对于记忆都是非常重要的,并且同睡眠的组织 and 近日节律有关。学习后的第一个夜晚尤其重要^[7],第二夜的睡眠不能代替第一夜的睡眠。

Stickgold^[8]发现在视觉辨认任务中,睡眠后记忆的提高同睡眠前1/4段的SWS和后1/4段的REM有关,而同睡眠的其他阶段无关。这表明记忆巩固需要先有SWS,然后有REM,并且记忆成绩的提高同早期的SWS和晚期的REM更加相关。有研究表明理想的内隐学习需要足够的SWS和REM,甚至需要先有SWS后有REM这样的顺序。

* 本项研究为全军指令性课题(编号01L073)“军事作业环境对军人认知行为的影响及防护措施研究”专题“连续作业致脑疲劳的认知行为失调特点及防护措施研究”的组成部分并受其资助,是作者博士论文的一部分,作者为该专题负责人。

** 第一作者简介:宋国萍,女,中国科学院心理所博士后。E-mail:songgp@psych.ac.cn

因此,无论 SWS 还是 REM 对记忆巩固都有作用,且作用各不相同。有关研究支持了 SWS 对于外显记忆(依赖海马的)更为重要,而 REM 对于内隐记忆(不依赖海马的)更为重要。同时,有关动物的研究表明了 REM 在依赖海马的空间记忆中有重要作用,对于不依赖海马的程序记忆任务,SWS 和 REM 都是必需的。SWS 和 REM 可能激活了记忆巩固过程的不同成分,对于一个给定任务的记忆都有或多或少的贡献。从 SWS 到 REM 在神经生物上有明显变化,从而可能导致记忆功能的整个模式变化。

目前有关睡眠和记忆之间关系的假说主要有:(1)“海马-新皮质对话”模式^[9]。这个模式表明记忆的巩固过程,包括了皮质和海马的 Ach 水平高低的变化以及相伴随的信息从新皮质到海马之间的流动。在学习过程中,信息快速地从新皮质向海马传递,然后在海马进行巩固,并且海马储存的信息又在 SWS 向皮质传递;(2)中枢神经网络模型。海马提供快速编码、疏散的记忆储存系统,从而形成明显的情景记忆,并且由于海马和杏仁核之间的紧密联系,该情景记忆伴随着情感;相反的,新皮层提供一个慢速的、紧密的记忆储存系统。新皮层独立记忆的形成来源于记忆痕迹的反复再激活。这种再激活可以是感觉运动方式的再激活,还可以被海马表征的记忆系统激活。通过慢的、自动的从海马的再激活(数天、数周、甚至数年),高密度的、重复的储存成为可能。因为已知信息是在 SWS 从海马流向皮层,并且此时没有从感觉器官输入的外界信息的竞争,因此在 SWS,海马再激活。Hinton^[10]提出了“清醒-睡眠”规则,在模拟的中枢神经网络,清醒阶段,“从下向上的再认联系”在海马产生输入;睡眠阶段,“从上向下的产生联系”试图在皮层上再表征原始的输入信息。通过改变两个方向的活动,海马改变其表征直到能够产生一个原始信息的最适表征。在清醒和 REM(Hinton 所谓的清醒阶段),信息从皮层流向海马,在海马形成原始感觉信息的表征。然后,在 SWS(Hinton 所谓的睡眠阶段),信息又从海马返回皮层。在随后的 90min 的 REM,神经网络使海马更加准确地表征原始的情景。“清醒”和“睡眠”状态反应了在 REM 和 SWS 新皮层中 Ach 的高或低水平。REM 的神经递质特点(Ach 水平较高)及神经生理特点(信息流动始于皮层)表明:无论信息来源于海马还是来源于皮层内(例如:语义启动)这种睡眠状态会在皮层激活或者进行新联系的编码。

2.4 来自睡眠剥夺实验的证据

睡眠剥夺或睡眠缺失在某些特殊职业中普遍存在,并且随着现代生活竞争压力的增加,其发生也越来越多。主要是指睡眠完全没有或 24h 内少于正常值的情况,所引起的认知活动的改变主要同警觉水平的降低有关。

SD 对于记忆的影响体现在记忆的每一个阶段,SD 破坏记忆过程,记忆损害程度同 SD 时困倦程度有关,它主要影响刺激登记。困倦状态以清醒 EEG 伴随阶段发生的微睡眠波(清醒背景上 EEG 间断发生的小于 15s 的睡眠波)为特点。记忆巩固过程,也受睡眠缺失及随后困倦的影响^[11]。但除了完全 SD 破坏记忆,最近的研究表明,限制睡眠(连续 4 晚,每夜睡眠 6h)同样破坏记忆。从睡眠到清醒出现的睡眠惯性(sleep inertia)也会对记忆能力造成影响。

不同的记忆系统要求不同的警觉水平。对于视觉辨认任务,训练后的 30h 内的睡眠非常重要。SD 对工作记忆的影响,不同研究者得出不同结论。有些研究表明 SD 后,工作记忆能力下降。如 Forest^[12]的研究,9 名被试完全 SD24h,测验注意和记忆能力,同时记录 SD 前后额叶和颞叶的脑电波。

结果表明自动过程、内隐记忆和工作记忆对 24hSD 敏感。但也有些研究表明,SD 对工作记忆的影响很小或没有。在对非熟悉面孔的再认和对新面孔的确定任务中,发现再认作业不受任何影响,而短暂记忆任务受 SD 的影响^[13]。一般认为 SD 对长时记忆有影响,尤其在任务没有进一步得到练习的情况下。而当任务练习较好时,SD 对它的影响非常小,这说明练习较好的记忆任务对持续清醒状态有或多或少的抵抗作用。SD 对元记忆的影响的研究并不是很多,在 Blagrove 的研究中,48 名被试 SD29 - 50h,同对照组相比,他们低估了在逻辑推理和瑞文测验的表现。另外的研究表明,目击记忆的自信-正确率较低,尤其在 SD47 - 50h 以后。

3 有关的成像研究

ERP 研究表明 SD 对记忆的影响同早期的知觉过程关系密切。SD 增加了 N1 和 P300 的潜伏期,P300 波幅下降。

关于睡眠或 SD 后功能成像的研究均表明额叶同睡眠后认知能力的变化有关。

用 fMRI,发现 SD24h 后,行为水平降低的同时两侧前额叶、顶叶和前运动区的活动降低非常明显,尤其是前额叶区^[14]。SD 的年轻被试主要损害前额叶的功能,同前额叶有关的测验结果受明显影响,而同前额叶关系不大的测验结果受影响不大。

SD 后执行任务时,整个皮层激活的方式发生改变。在 Drummond^[15]的实验中发现 SD 后词汇学习有一个动力的、互相补偿的中央激活系统,并且前额叶和顶叶在其中发挥着作用。左颞叶在 SD 后对词汇学习任务的反应降低同较低的回忆成绩有关。

4 小结

综上所述,REM 和 SWS 在记忆加工过程中有着重要的作用。除了加强已建立的记忆,睡眠还有两个重要作用:支持记忆在海马和新皮层之间转化;将新皮层中的记忆整合为更广泛的联系。

5 参考文献

- Smith C. Sleep states and learning: a review of the animal literature. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 1985, 9:157 - 168
- Smith C, Conway JM, Rose GM. Brief paradoxical sleep deprivation impairs reference, but not working, memory in the radical arm maze task. *Neuobiol - Learn - Mem.*, 1998, 69:211 - 217
- Wilson MA, McNaughton BL. Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 1994, 265:676 - 679
- Karni A, Tanne D, Rubenstein BS, et al. Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*, 1994, 265: 679 - 682
- Roehrs T, Roth T. Sleep - wake state and memory function. *Sleep*, 2000, 23:S64 - 68
- Kamphuisen HA, Kemp B, Kramer CG, et al. Long - term sleep deprivation as a game. The wear and tear of wakefulness. *Clin - Neuro - Neurosurg.*, 1992, 94:S96 - 99
- Tononi G, Cirelli C. The frontiers of sleep. *TINS*, 1999, 10:417 - 418
- Stickgold R, Hobbson JA. Visual discrimination learning: both NREM and REM are required. *Sleep*, 1998, 21:S256
- Buzsaki G. The hippocampo - neocortical dialogue. *Cereb. Cortex*, 1996, 6:81 - 92
- Hinton GE, Dayan P, Frey BJ, et al. The "Wake - Sleep" algorithm for unsupervised neural networks. *Science*, 1995, 268:1158 - 1161

- 11 Timothy R, Thomas R. Sleep - wake state and memory function. *Sleep*, 2000, 23:S64 - S68
- 12 Forest G, Gdbout R. Effects of sleep deprivation on performance and EEG spectral analysis in young adults. *Brain and Cognition*, 2000, 43: 195 - 200
- 13 Harrison Y, Horne JA. Sleep loss and temporal memory. *Q - J - Exp - Psychol - A*, 2000, 53:271 - 279
- 14 Drummond SPA, Brown GG, Stricker JL, et al. Sleep deprivation - induced reduction in cortical functional response to serial subtraction. *Neuroreport: - For - Rapid - Communication - of - Neuroscience - Research*, 1999, 10:3745 - 3748
- 15 Drummond SPA, Brown GG, Gillin JC, et al. Altered brain response to verbal learning following sleep deprivation. *Nature*, 2000, 403:655 - 657

Progress in the Research on the Relationship Between Sleep and Memory

Song Guoping^{1,2}, Miao Danmin³, Huangfu En³

(¹ Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

(² No. 467 Hospital of PLA, Shijiazhuang, 050800)

(³ Department of Psychology, Faculty of Aerospace Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an, 710032)

Abstract The relationship between sleep and memory, two basic human functions, has been an interesting subject. The paper reviewed recent researches on the relationship between sleep and memory in terms of animals and humans, and discussed the results of recent researches on event-related potentials and fMRI. In the discussion about humans, the effects of rapid eye movement sleep, slow wave sleep, organization of sleep, sleep loss on memory were dealt with.

Key words: sleep, memory, animal, human, REM, SWS, fMRI

(上接第 1476 页)

- 10 刘志雅,赵冬梅,郑雪. 一个演绎推理难题对心理模型理论的验证. *心理科学*, 2003, 26(2): 370 - 371
- 11 Kempton W. Two theories of home heat control. *Cognitive Science*, 1986, 10: 75 - 90
- 12 Payne S J. A descriptive study of mental models. *Behaviour & Information Technology*, 1991, 10: 3 - 21
- 13 Clement J A. conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In: Gentner D, Stevens A L. *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1983, 325 - 340
- 14 McCloskey M. Intuitive physics. *Scientific American*, 1983, 248 (4): 122 - 130
- 15 Sasse M. How to trap users' mental models. In: Tauber M J, Ackermann D. *Mental models and human - computer interaction 2*. Human Factors in Information Technology No. 7. Amsterdam, North - Holland: Elsevier Science, 1991. 59 - 79
- 16 Kerr S T. Wayfinding in an electronic database: The relative importance of navigational cues vs. mental models. *Information Processing & Management*, 1990, 26(4): 511 - 523
- 17 Kuhlthau C C, Belvin R J, George M W. Flowcharting the information search: A method for eliciting users' mental maps. In: Proceedings of the 52nd ASIS Annual Meeting. Medford, NJ: Learned Information, 1989, 162 - 165
- 18 Belkin N J, Brooks H M, Daniels P J. Knowledge elicitation using discourse analysis. *International Journal of Man - Machine Studies*, 1987, 27: 127 - 144
- 19 Ingwersen P. Search procedures in the library - analysed from the cognitive point of view. *Journal of Documentation*, 1982, 38(3): 165 - 191
- 20 Schwartz D L, Black J. B Analog imagery in mental model reasoning: Depictive models. *Cognitive Psychology*, 1996, 30: 154 - 219
- 21 Chi M T H, de Leeuw N, Chiu M H, LaVancher C. Eliciting self - explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 1994, 18: 439 - 477
- 22 Chi M T H. Self - explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In: Glaser R. *Advances in Instructional Psychology*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000, 161 - 238
- 23 Chi M T H, Siler S, Jeong H, Yamauchi T, Hausmann R G. Learning from tutoring. *Cognitive Science*, 2001, 25:471 - 533

Researches on Mental Models and Elicitation Techniques

Du Weiyu

(Department of Psychology, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract Since the concept of mental models was first put forward by Craik in 1943, a great number of researches on mental models have been made. At present there are two research approaches towards mental models. The paper introduces the researches based on two approaches, and summarizes mental model elicitation techniques through interviews and observations. Then the paper points out the research tendencies of mental models and elicitation techniques, namely, the integration of two approaches and the integration of some kinds of elicitation techniques.

Key words: mental model, elicitation techniques