

研究原著 ·

文章编号: 1000-2790(2004)18-1707-03

## 睡眠剥夺对工作记忆的影响

宋国萍<sup>1,2</sup>, 苗丹民<sup>3</sup>, 皇甫恩<sup>3</sup> ( <sup>1</sup>中国科学院心理研究所认知心理学室, 北京 100101, <sup>2</sup>解放军 467 医院, 河北 石家庄 050800, <sup>3</sup>第四军医大学航空航天医学系心理学教研室, 陕西 西安 710033)

### Effects of sleep deprivation on working memory

SONG Guo Ping<sup>1,2</sup>, MIAO Dan Min<sup>3</sup>, Huangfu En<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Cognitive Psychology, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China, <sup>2</sup>Chinese PLA 467 Hospital, Shijiazhuang 050800, China, <sup>3</sup>Department of Psychology, School of Aerospace Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an 710033, China

**【Abstract】** AIM: To study the effects of sleep deprivation (SD) for different time periods on working memory. METHODS: Thirty-two young males were randomly divided into 4 groups, control, SD21 h, SD45 h and SD69 h. The subjects were tested after sleep deprivation by memory span test, digit subtraction test, and random number generation test. RESULTS: After SD, the score of memory span lowered, which was significant at SD69 h. The score of backward number memory span was significantly lowered at SD45 h. After SD, the score of total number of digit subtraction test was significantly lowered at SD69 h while correct number/total number was significantly lowered at SD45 h. The random number generation test was more sensitive than others. Total Number and Random Number Generation were significantly lowered at SD21 h while Redundancy and Adjacent were significantly lowered at SD45 h. CONCLUSION: Working memory is lowered after SD and tasks needing more working memory are more significantly affected. Such effect is more evident after SD45 h.

**【Key words】** sleep deprivation; working memory; stochastic processes

**【摘要】**目的: 探讨不同时间睡眠剥夺对工作记忆的影响。方法: 32 名青年男性随机分为 4 组: 对照组, SD21 h, SD45 h 和 SD69 h 组, 每组 8 名。采用数字记忆广度、词汇记忆广度、连续减法和随机数字生成测验对 4 组被试进行测试。结果: 睡眠剥夺后, 记忆广度成绩下降, 69 h 有显著差异, 其中倒背 45 h 就有显著差异; 连续减法测验成绩下降, 69 h 时反应总数有显著差异, 45 h 时正确数/反应总数之比就有显著差异; 随

机数字生成测验敏感于其他测验, SD21 h 就出现随机数字生成总数和随机性有显著差异, 偏离理想数字序列的程度 (R) 和相邻数字对在所有数字中所占比例 (A) 在 SD45 h 时有显著差异。结论: SD 后对于工作记忆影响较大, 对于工作记忆要求高的测验受影响更大, 并且这种影响在 SD45 h 以后更为显著。

**【关键词】**睡眠剥夺; 工作记忆; 随机过程

**【中图分类号】**B845.66 **【文献标识码】**A

## 0 引言

睡眠剥夺 (sleep deprivation, SD) 或睡眠缺失在航空航天中普遍存在, 并对情绪、认知能力、工作绩效、免疫功能等产生一系列改变, 甚至出现严重灾难。工作记忆是一种对信息进行暂时性加工和储存的综合能力, 并且对于认知能力的评价能起到一种预报作用<sup>[1]</sup>。大量研究证明, 工作记忆系统对于完成学习、运算、推理、语言理解等复杂的认知活动起关键作用<sup>[2,3]</sup>。作为加工资源的工作记忆能力的下降, 可能是导致一般认知能力下降的原因<sup>[4]</sup>。我们通过数字和词语记忆广度测验、连续减法测验和随机数字生成测验来测查被试的工作记忆情况。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 纳入标准: 青年男性, 身体健康; 裸眼视力或矫正视力正常; 近期无急性感染史或感染症状; 近期未服用任何药物; 没有肝炎、肿瘤、肾炎、糖尿病、内分泌紊乱等严重病史; 无精神神经疾病史; 通过面谈和自编的《睡眠行为调查问卷》表明睡眠习惯良好, 睡眠/觉醒正常, 非特别早醒和特别晚醒者; 无喝咖啡、茶及抽烟等习惯; 自愿参加实验, 并愿意填写书面同意书。选取和分组: 对于符合条件并且自愿报名的第四军医大学空军医学系三年级学生, 用临床记忆量表、艾森克人格测验、瑞文智力测验、内田-克雷佩林测验和键盘敲击速度进行选择。选出 32 名青年男性学生, 年龄 20~22 (平均 20.7) 岁, 随机分为 4 组: 对照组, SD21 h, SD45 h 和 SD69 h 组, 每组 8 名。

### 1.2 方法

**1.2.1 实验过程** 每次实验, SD 组每组各 2 名被

收稿日期: 2003-11-18; 修回日期: 2004-02-19

基金项目: 军队医药卫生科研基金资助项目 (01L073)

通讯作者: 苗丹民. Tel. (029) 83374814 Email. miaodm39@hotmail.com

作者简介: 宋国萍 (1972-), 女 (汉族), 河北省石家庄市人. 博士. Tel.

(010) 64837208 Email songgp@psych.ac.cn

试,共为6名,于实验当日7:00起床后进入实验室进行SD,于第2,3和4日4:00离开,分别剥夺睡眠21h,45h和69h.共进行4次实验.实验过程中被试可以自由活动,看电视和玩扑克,但是不能离开实验室,自始至终有6名主试监督,以防被试睡眠.实验结束后进行测试.正常对照组被试在8:00进行测试.

**1.2.2 实验方法** 数字记忆广度:来自韦氏智力量表中的“背数”.由主试按1个/s的速度念出不同数目的数字,从3个数字开始,每个数目的数字进行测试2次,直到被试连续2次不能够正确回忆出,为被试能够正确回忆的数目,最多为9个数字.共有两种:正背和倒背.得分分别计算正确回忆的数目.

词记忆广度:Rey听觉语词学习测验(auditory verbal learning test,AVLT)由主试按1个/s的速度念出15个词汇,念完一遍,被试回忆一遍,共进行5遍,然后再念另一组词.要求被试在听完后立即复述.在复述后,要求被试再尽量回忆第一组词,用以测试由于学习第二组词而产生的对第一组词记忆的干扰.每一正确回忆记1分,总分为5次内正确回忆的总数.

连续减法测验(DST):任给被试一个百位数为9的3位数,要求被试大声读出,依次从该数中减9并报告,减8报告……直至减1,再依次减2报告,减3报告……直至减9,如此循环,记录每次的计算结果.要求被试越快越好,越正确越好.若超过20s没有回答,由主试进行提醒.总测试时间为3min.记录指标:反应总数(number of reaction,NR),正确反应数占总反应数的百分比(CR/NR).随机数字生成测验:要求被试在1min之内说出一位数(0~9)的随机数,要尽可能随机和尽可能多.由主试用RGCALC软件<sup>[5]</sup>记录和分析.分析和统计指标:产生随机数字的总数(N),偏离理想数字序列的程度(redundancy,R),相邻数字对在所有数字中所占的比例(adjacent,A),随机性(random number generation,RNG).

统计学处理:采用SPSS 11.0对数据进行统计.组间比较采用单因素方差分析,两两比较应用LSD.

## 2 结果

**2.1 记忆广度** SD后,无论数字还是词汇记忆广度有一定下降,SD69h最为明显,有显著性差异.在实验过程中,SD69h组的被试反应速度明显减慢,有两名被试在测试过程中出现明显停顿,不知道在做什么.数字记忆广度中顺背方差齐性(Levene统计量1.700, $P=0.199$ ),检验得 $F=3.510$ , $P=0.034$ ;数字记忆广度中倒背方差齐性(Levene统计量1.148, $P=0.354$ ),检验得 $F=14.905$ , $P=0.000$ ;词汇记忆

广度方差不齐(Levene统计量3.251, $P=0.043$ ),将数值进行余弦转换后方差齐性(Levene统计量2.417, $P=0.096$ ),检验得 $F=1.743$ , $P=0.190$ .见Tab 1.

表1 SD后数字和词记忆广度测试成绩

Tab 1 Results of number span and word span tests after SD ( $n=8, \bar{x} \pm s$ )

Group	Number in sequence	Number in backward	Word span
Control	8.8 $\pm$ 0.4	7.7 $\pm$ 0.5	72.3 $\pm$ 1.0
SD21 h	8.8 $\pm$ 0.4	6.7 $\pm$ 1.0	71.0 $\pm$ 3.1
SD45 h	8.7 $\pm$ 0.5	6.0 $\pm$ 0.9 <sup>d</sup>	69.8 $\pm$ 4.4
SD69 h	7.8 $\pm$ 1.0 <sup>ab</sup>	4.2 $\pm$ 1.2 <sup>ab</sup>	63.5 $\pm$ 7.3 <sup>ab</sup>

<sup>a</sup>  $P < 0.05$  vs SD21 h & SD45 h; <sup>b</sup>  $P < 0.01$  vs control, SD21 h & SD45 h;

<sup>d</sup>  $P < 0.01$  vs control. SD: Sleep deprivation.

**2.2 连续减法测验** 经方差齐性检查,反应总数方差齐性(Levene统计量1.308, $P=0.299$ ),检验得 $F=20.856$ , $P=0.000$ ,正确反应数占总反应数的百分比方差齐性(Levene统计量2.556, $P=0.084$ ),检验得 $F=21.365$ , $P=0.000$ .SD69h组同其他组相比有显著差异,对于正确数占总反应数的百分比而言,SD45h时即有显著差异(Tab 2).

表2 睡眠剥夺后连续减法测验结果

Tab 2 Results of DST after sleep deprivation ( $n=8, \bar{x} \pm s$ )

Group	NR	CR/NR
Control	50 $\pm$ 5	0.98 $\pm$ 0.13
SD21 h	46 $\pm$ 7	0.95 $\pm$ 0.04
SD45 h	44 $\pm$ 8	0.92 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
SD69 h	24 $\pm$ 7 <sup>b</sup>	0.81 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>  $P < 0.05$  vs control; <sup>b</sup>  $P < 0.01$  vs control, SD21 h & SD45 h. CR: Correct number; NR: Number of reaction; SD: Sleep deprivation.

**2.3 随机数字生成任务** 随SD时间的延长,各指标成绩均下降.其中RNG最为敏感.RNG方差齐性(Levene统计量1.474, $P=0.255$ ),检验得 $F=41.690$ , $P=0.000$ ;N方差齐性(Levene统计量2.202, $P=0.123$ ),检验得 $F=11.480$ , $P=0.000$ ;R方差齐性(Levene统计量0.213, $P=0.886$ ),检验得 $F=114.197$ , $P=0.000$ ;A方差不齐(Levene统计量3.483, $P=0.037$ ),进行余弦转换后方差齐性(Levene统计量1.512, $P=0.245$ ),检验得 $F=4.113$ , $P=0.022$ .见Tab 3.

表3 所有被试随机性比较

Tab 3 Results of RNG after sleep deprivation ( $n=8, \bar{x} \pm s$ )

Group	N	R	A	RNG
Control	86 ± 24	0.38 ± 0.02	2.24 ± 0.25	0.12 ± 0.02
SD21 h	66 ± 15 <sup>a</sup>	0.40 ± 0.05	2.45 ± 0.97	0.19 ± 0.05
SD45 h	66 ± 12 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.04 <sup>bd</sup>	3.42 ± 0.55 <sup>bd</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>d</sup>
SD69 h	34 ± 4 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.04 <sup>b</sup>	4.13 ± 0.38 <sup>bc</sup>	0.40 ± 0.05 <sup>bd</sup>

<sup>a</sup>  $P < 0.05$  vs control & SD 69 h; <sup>b</sup>  $P < 0.01$  vs control & SD 21 h; <sup>c</sup>  $P < 0.05$  vs control & SD 45 h; <sup>d</sup>  $P < 0.01$  vs control & SD 21 h. N: Number; R: Redundancy; A: Adjacent; RNG: Random number generation; SD: Sleep deprivation.

### 3 讨论

**3.1 记忆广度测验** 由于记忆广度测验任务相对比较容易,作业时间相对较短,被试通过努力可以一定程度对抗SD的作用。因此,尽管SD21 h和SD45 h成绩有一定下降,但不是很明显,SD69 h时成绩才有明显下降,这同前人的研究相一致。在Deary等<sup>[6]</sup>的研究中,医生一夜没有睡眠,结果数字记忆广度虽有一定减少,但没有统计学意义。并且来自临床上有关阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(obstructive sleep apnea syndrome, OSAS)患者的研究,也发现数字记忆广度测试成绩下降,药物治疗后也没有明显好转<sup>[7]</sup>。数字记忆广度中的倒背不仅同短时记忆有关,由于难度加大,同工作记忆也有一定关系<sup>[8]</sup>。因此,其在SD45 h就有显著下降,而正背在SD69 h才有明显下降,显示其对SD更为敏感。

**3.2 连续减法测验** SD后,无论反应总数还是正确反应数/总反应数,随时间延长都有一定下降,SD69 h最为明显,其中正确反应数/总反应数敏感于反应总数,在SD45 h就有显著下降。较作业时间(反应总数)而言,SD对正确性影响更大<sup>[9]</sup>。该任务较短时记忆任务,难度加大,不仅要记住计算结果,还要记住上个被减数,工作记忆加工负荷加重,耗费心理能源比较多,因而耗费时间较单纯短时记忆任务要长;因为加工需时长,就会影响储存和保持,出现遗忘上一个被减数。同杨朝辉<sup>[10]</sup>研究相比,虽然被试的年龄、性别、文化水平类似,但由于其任务只是单纯计算,没有工作记忆负荷,SD63 h后正确反应数没有显著变化。本实验增加了工作负荷,不仅要求计算,还要记住上一个被减数,因而对SD较敏感。SD后心理资源减少,任务难度相对加大,无论总反应数还是正确反应数的百分比都下降,直到SD69 h下降显著。SD69 h组被试多次出现长时间停顿,不知道自己做到什么地方,进一步证明了SD作用的脱漏假说。SD时,出现

了不时发生的“阻滞”或者没有反应的短暂间期,其发生频率和时程随着SD时间的延长而增多,从而导致反应时延长,在本实验中表现为反应总数的下降。在阻滞获无反应期的反应则表现为正确率的下降。

**3.3 随机数字生成测验** 随机数字生成任务需要持续注意能力,并且可能主要包括如下几个过程<sup>[11]</sup>:

整合定势和被试长时记忆中的有关随机性的概念,并保持在工作记忆中; 选择合适策略,抑制同指导语相反的反应; 监测输出,将输出同随机性概念进行比较; 如果同随机性概念不同,进行策略调整和改变。SD后,随机数字生成任务完成下降,以随机性R最为敏感,可以敏感地反映不同SD的影响。R, N和A在SD45 h以后就有明显下降。以上结果均表明,SD后生成数字随机性下降。随机性下降的原因可能在于工作记忆的下降,控制者的能力有限,SD后对于高联系强度或强联系力度的联系抑制的能力下降,其能力不足以产生随机性高的数字序列,更容易按习惯化方式反应,导致随机性下降;控制者能力下降的另一面表现可能是不能够根据违反规则的反馈及时调整产生随机数字的规则,从而也导致随机性的下降。

总结上述实验,我们认为SD后对于工作记忆影响较大,对于工作记忆要求高的测验影响更大,并且这种影响在SD45 h以后更为显著。

致谢:第四军医大学航空航天医学系心理学教研室各位老师 and 同学的指导和帮助!

#### 【参考文献】

- [1] Eagle RW, Tuholski SW, Laughlin JE, et al. Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach [J]. *J Exp Psychol G*, 1999;128: 309 - 331.
- [2] Baddeley A. Working memory [J]. *Science*, 1992;255:556 - 559.
- [3] Logie RH. Working memory [J]. *Am Psychol*, 1999;12:174 - 178.
- [4] Salthouse TA. The aging of working memory [J]. *Neuropsychology*, 1994;8:535 - 543.
- [5] Towse JN, Nell D. Analyzing human random generation behavior: A review of methods used and a computer program for describing performance [J]. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 1998;30:583 - 591.
- [6] Deary JJ, Tait R. Effects of sleep deprivation on cognitive performance and mood in medical house officers [J]. *Br Med J*, 1987;295:1513 - 1516.
- [7] Feuerstein C, Naegele B, Pepin JL, et al. Frontal lobe-related cognitive functions in patients with sleep apnea syndrome before and after treatment [J]. *Acta Neurol Belg*, 1997;97:96 - 107.
- [8] Capitani E, Laiacona M, Ciceri E. A re-analysis of block tapping long term memory according to the short term memory [J]. *Italian J Neurol Sci*, 1991;12:461 - 466.
- [9] Ferrara M, Gennaro LD, Bertini M. Time-course of sleep inertia upon awaking from nighttime sleep with different sleep homeostasis conditions [J]. *Avia Space Environ Med*, 2000;71: 225 - 229.
- [10] 杨朝辉. 重复口服小剂量咖啡因在63 h单纯睡眠剥夺下对心理功能的影响[D]. 第四军医大学硕士学位论文. 1999.
- [11] Jahanshahi M, Dirnberger G. The left dorsolateral prefrontal cortex and random number generation of responses: Studies with transcranial magnetic stimulation [J]. *Neuropsychologia*, 1999;37:181 - 190.

编辑 甄志强