

381-386

视空间定位的短时记忆的超广度研究<sup>1)\*</sup>陈湘川<sup>1,3</sup>张达人<sup>1,3</sup>唐孝威<sup>2,3</sup>

B842.3

<sup>1</sup> 中国科技大学生命科学院 合肥 230026; <sup>2</sup> 中国科学院高能物理研究所 北京 100039;<sup>3</sup> 中国科技大学脑科学研究中心合肥 230026)

**摘 要** 采用视空间定位的短时记忆任务,研究记忆负载的增加对空间位置信息和时间顺序信息的记忆成绩的影响。结果表明,在记忆负载较低时,位置记忆和顺序记忆的成绩相同;当记忆负载逐渐增大时,位置记忆的成绩逐渐上升,而顺序记忆的成绩先上升后下降,两者出现显著性的差异。在这个过程中,短时记忆的加工发生相应的变化,体现了短时记忆加工资源的有限性。

**关键词** 视空间定位, 短时记忆, 超广度, 短时记忆加工, 短时记忆加工资源。

## 1 引 言

短时记忆 (STM) 的容量有限是一个被普遍接受的实验事实,但其实质和基础是什么,至今还存在许多争议<sup>[1,2]</sup>。例如,组块说和复述回路说对此即有不同的观点<sup>[3]</sup>,并且引发了许多进一步的实验研究<sup>[4-7]</sup>。从记忆加工的角度分析,组块和复述都是 STM 加工的表现形式。依据中枢资源有限的理论,STM 的容量有限,可能是由其加工资源的有限所造成。因此,组块说和复述回路说可能是从不同的侧面反映了 STM 加工资源的有限性。这表明,从资源有限的观点出发对 STM 进行研究,可能会有助于我们进一步理解 STM 容量有限的实质。

STM 加工可能随记忆负载的增大而发生变化。功能核磁共振成像和脑电图的研究显示,记忆负载不同,大脑皮层的活动也不同<sup>[8,9]</sup>,支持这个观点。这表明,增加记忆负载,可能是研究 STM 加工资源的方法之一。本文的研究即是在记忆负载从次广度 (小于广度) 增加为超广度 (大于广度) 的情况下,观察 STM 信息及其加工所发生的变化,并以此分析 STM 加工资源是否表现出有限的特性。

STM 加工可能与 LTM (长时记忆) 有关。Shiffrin 和 Nosofsky 认为,所有的 STM 研究模式都可能包含 STM 提取和 LTM 提取<sup>[2]</sup>。Lee 和 Estes 则认为, LTM 和 STM 是按保持时程来划分的,初级记忆 (primary memory, PM) 参与 STM, 次级记忆 (secondary memory, SM) 参与 LTM, STM 加工是 PM 加工和 SM 加工的混合<sup>[10]</sup>。在记忆广度任务中存在 SM

1) 本文初稿的收到日期: 1997-09-17, 修改稿收到日期: 1998-03-17。

\* 国家自然科学基金资助课题。

成分<sup>[1]</sup>。因此,可以认为在 STM 加工中,PM 加工和 STM 有关,SM 加工和 LTM 有关。这两种记忆加工在 STM 任务中所起的作用,及其随记忆负载的增大而发生的变化,也是我们要研究的问题。

本研究采用视空间定位的 STM 任务,2×7 的混合实验设计(系列回忆和自由回忆两种回忆方式,4~10 的 7 个水平的记忆负载),并对参加两个实验的被试按照随机分配的原则进行匹配平衡。

## 2 实验 1 系列回忆实验

### 2.1 方法

**被试** 共有 20 名科大学生自愿参加实验 1 和实验 2(每个实验各 10 名),被试色觉正常,视锐度正常或校正后正常。

**仪器和软件** 采用 586 微机和扩展的 Corsi 刺激器(图 1)。刺激器的面板上共有 15 个随机分布的红色发光二极管(LED),用于呈现刺激。在每个 LED 后方各有一按键,用于被试的回忆报告。面板面积为 34.0×26.0cm<sup>2</sup>。整个实验过程由自编的记忆实验软件控制。

**实验程序** 每次测验开始后,不同位置的 LED 以 2 秒的时间间隔依次发亮,发亮的持续时间为 200ms。要求被试在每次 LED 亮后,尽快按下此 LED 后方的相应按键。刺激呈现完毕,被试立即进行系列回忆。

实验中呈现的 LED 个数(刺激长度)为 2~10,其中刺激长度为 2 和 3 的测验均做 4 次作为练习,刺激长度为 4~10 的测验均做 8 次作为正式的测验。因为科大学生对 Corsi 刺激的 STM 广度平均约为 7<sup>[1]</sup>,选择最大刺激长度为 10,完全满足超广度的负载条件。全部测验共有 64 次,以刺激长度递增的方式进行。整个实验持续约 40 分钟。

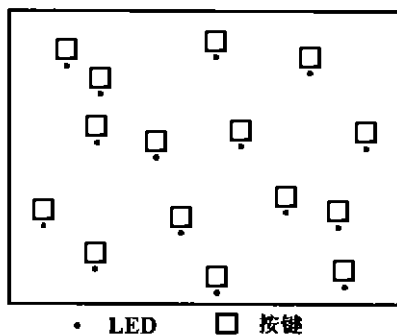


图1 扩展的Corsi刺激器

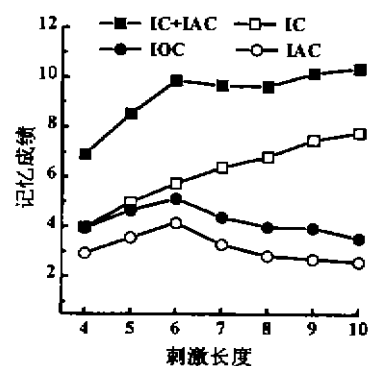


图2 系列回忆的记忆成绩

IC: 项目正确数 IOC: 项目及顺序正确数  
IAC: 项目及联系正确数(详见正文)

### 2.2 结果

在分析 STM 实验结果时,应该区分三种类型的信息:(1)项目信息,即用于识别单个物体对象(项目)的信息;(2)联系信息,即两个项目之间的联系;(3)系列顺序信息,即一串(三个或更多)项目的时间顺序<sup>[1]</sup>。对视空间定位的 STM 任务而言,项目信息即空间位置信息,联系信息和系列顺序信息则与时间顺序信息有关。下面分别对这三种记忆信息进行分析。

项目正确数(IC)、项目及顺序正确数(IOC)和项目及联系正确数(IAC) 分别以 IC、IOC 和 IAC 代表被试对项目信息、项目及顺序信息和项目及联系信息的记忆成绩\*。IC、IOC 和 IAC 曲线见图 2(以 10 名被试的平均值对刺激长度(L)作图)。

由图 2 可见, IC 随 L 的增大而增加。IOC 和 IAC 随 L 的增大先逐渐增加后逐渐减少, 在  $L=6$  时达最大值( $t$ -test, IOC:  $P < 0.031$ ; IAC:  $P < 0.008$ )。IC 和 IOC 比较, 当  $L \geq 5$  时两者产生显著性差异( $t$ -test,  $P < 0.037$ ), 并且有  $IC > IOC$ 。IOC 和 IAC 曲线从总体上来说是的平行的(多元线性方差分析(MANOVA),  $MS = 0.06$ ,  $F(6, 54) = 1.06$ ,  $P = 0.399$ )。

$IC + IAC$   $IC + IAC$  在  $L = 4 \sim 6$  时随 L 的增大而增加; 当  $L \geq 6$  时,  $IC + IAC = 9.93$  ( $L = 6 \sim 10$  的成绩平均值;  $t$ -test,  $P > 0.409$ ) (图 2)。

### 3 实验 2 自由回忆实验

#### 3.1 方法

仪器和软件、实验程序 与实验 1 相同。唯一的区别是、当刺激呈现完毕, 要求被试立即进行自由回忆。

#### 3.2 结果

IC 以 10 名被试的 IC 平均值对刺激长度作图, 并和实验 1 中的 IC 曲线比较, 见图 3。

由 MANOVA 分析, 自由回忆和系列回忆的总体成绩没有达到显著性差异( $MS = 3.13$ ,  $F(1, 18) = 4.25$ ,  $P = 0.054$ ), 但刺激长度的增加对它们的影响是不同的( $MS = 0.81$ ,  $F(6, 108) = 6.27$ ,  $P = 0.000$ )。将不同刺激长度, 两种实验条件下的 IC 进行比较, 当  $L = 4 \sim 9$  时两者没有显著性差异( $t$ -test,  $P > 0.164$ ); 当  $L = 10$  时, 自由回忆大于系列回忆( $t$ -test,  $t = 3.75$ ,  $P = 0.001$ )。

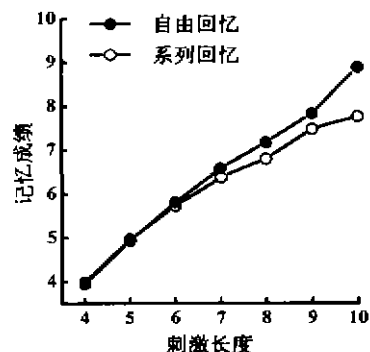


图3 自由回忆和系列回忆  
记忆成绩的比较

## 4 讨 论

#### 4.1 视空间定位的 STM 加工

在我们以前的研究中, 视空间定位的 STM 广度约为 7<sup>[12]</sup>。此 STM 广度中可能包含有 PM 和 SM 加工的成分<sup>[2, 10, 11]</sup>。Howe 和 Jung 认为, 空间定位的记忆容量随着从 SM 中提取视觉或词语的信息而显著增加, 但其 PM 容量为 3<sup>[14]</sup>。从这些观点出发, 可以认为在本实验中, 当记忆负载(刺激长度)小于 3 时, 被试的 STM 加工为 PM 加工; 当记忆负载大于 3 时, STM 加工中有 SM 成分的加入, 并且使记忆容量显著增加。

空间位置信息的记忆加工 在本文的两个实验中, 当  $L \leq 10$  时, IC 均随 L 的增大而显

\* IC 指被试正确报告的项目数(不考虑报告的顺序), IOC 指被试按呈现顺序正确报告的项目数, IAC 指 IC 中连续两个项目的顺序与呈现序列中相同的个数。如: 呈现序列为: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; 报告序列为: 1, 4, 2, 3, 5, 9, 7, 8 (以数字代表不同的项目), 则:  $IC = 7$ ,  $IOC = 4$ ,  $IAC = 2$ 。

著增加(图 3)。根据以上讨论,可以认为在视空间定位的 STM 任务中,当  $L \leq 10$  时,SM 加工能够显著提高位置记忆的成绩,并且这种作用保持其有效性。

**时间顺序信息的记忆加工** 在本文的实验 1 中,IOC 和 IAC 曲线平行(图 2)。因此,可以用 IOC 或 IAC 代表被试的顺序记忆成绩。SM 加工也能提高顺序记忆的成绩,但其表现和在位置记忆中的明显不同。由图 2 可以看到,顺序记忆的成绩随  $L$  的增大,在  $L = 4 \sim 6$  时上升,在  $L = 6$  时达最大值,在  $L > 6$  时下降并接近于 PM 水平。Shiffrin 和 Cook 认为,顺序信息是在 STM 中保持的信息集合体的初级成分,LTM 对它的贡献比较小<sup>[15]</sup>。我们的结果表明,SM 加工对提高顺序记忆成绩的作用是有限的,而且这种作用还并不总是有效的,在  $L > 6$  时有效性开始降低,并趋于 PM 的水平。

**位置记忆和顺序记忆加工的比较** 在本文的实验 1 中,被试的 IC 和 IOC 在  $L < 5$  时没有显著性的差异,在  $L \geq 5$  时表现出显著性差异(图 2)。这表明 PM 加工对位置记忆和顺序记忆的贡献可能基本相同。而 SM 加工的参与使位置记忆和顺序记忆的成绩出现了显著性的差异,反映了 SM 加工对它们的贡献可能是不同的。

#### 4.2 参与视空间 STM 的 SM 加工资源是有限的

$IC + IAC = 9.93$  在本文的实验 1 中,我们注意到,当  $L \geq 6$  时, $IC + IAC = 9.93$ (图 2)。产生这种现象的一个可能的原因是,参与视空间 STM 的 SM 加工资源是有限的,并且可能在位置记忆和顺序记忆之间进行分配。当  $L = 4 \sim 6$  时,所利用的 SM 加工资源逐渐增多,位置记忆和顺序记忆所分配的资源也增多,记忆成绩相应提高;当  $L \geq 6$  时,全部可利用的资源在位置记忆和顺序记忆之间进行分配,随着记忆负载的增加,顺序记忆越来越依赖于 SM 加工,而 SM 加工对提高顺序记忆成绩的作用十分有限,使得顺序信息不能在 STM 中很好地保持,所占用的资源释放出来;同时,位置记忆对资源的竞争也越来越大。这两方面的因素可能造成顺序记忆所分配的资源的比例越来越小,位置记忆所分配的资源的比例越来越大,从而产生了图 2 的实验现象。我们在前面的讨论中,曾经提到 SM 加工对位置记忆和顺序记忆的贡献是不同的,可能就和这种资源的重新分配有关。

**自由回忆和系列回忆** 通常情况下,对同样的记忆材料,自由回忆方式回忆的项目数大于系列回忆方式回忆的项目数<sup>[16]</sup>。这可能是因为自由回忆任务中,被试只需记忆项目信息;而在系列回忆任务中,被试不仅需要记忆项目信息,还需记忆顺序信息。图 3 中,位置记忆的最好成绩( $L = 10$  时)表现为自由回忆大于系列回忆。如果自由回忆和系列回忆所利用的 SM 加工资源是相等而且有限的,那么,由于系列回忆中顺序记忆消耗了一部分资源,造成在系列回忆中位置记忆所分配的资源小于在自由回忆中所分配的,因而产生了记忆成绩的差异。如果所利用的 SM 加工资源非常大,就不会出现这种情况。至于在  $L < 10$  时自由回忆和系列回忆的位置记忆成绩没有出现显著性的差异,可能是因为在  $L < 10$  的情况下,位置记忆所分配的资源在系列回忆和自由回忆之间相比没有明显的不同(这可能与系列回忆中资源的重新分配有关)。

## 5 结 论

在视空间定位的 STM 任务中,被试对空间位置信息和时间顺序信息的记忆随负载的增大而发生变化,PM 加工和 SM 加工在这种变化中所起的作用也不同。在次广度( $L \leq 4$ )

的记忆负载下, 位置记忆和顺序记忆的成绩相同, 表明 PM 加工对它们的贡献可能基本相同。在超广度 ( $L \geq 6$ ) 的记忆负载下, 顺序记忆所分配的 SM 加工资源越来越少, 记忆成绩趋于 PM 的水平; 位置记忆所分配的 SM 加工资源越来越多, 记忆成绩呈上升的趋势; 总的记忆成绩保持在一定的水平。在这个过程中, 参与视空间 STM 的 SM 加工资源是有限的, 并且在位置记忆和顺序记忆之间可能发生资源的重新分配。

### 参 考 文 献

- 1 Shiffrin R M. Short-term memory: A brief commentary. *Memory & Cognition*, 1993, 21(2): 193—197
- 2 Shiffrin R M, Nosofsky R M. Seven plus or minus two: A commentary on capacity limitations. *Psychological Review*, 1994, 101(2): 357—361
- 3 张武田, 杨德庄. 汉字词笔划数对短时记忆容量的影响. *心理学报*, 1987, 19(1): 79—84
- 4 喻柏林. 语言单位大小在短时和长时记忆中的效应. *心理学报*, 1989, 21(1): 1—7
- 5 张武田, 彭瑞祥, 司马贺. 汉语字词的短时记忆容量. *心理学报*, 1986, 18(2): 133—139
- 6 喻柏林, 荆其诚, 司马贺. 汉语语词的短时记忆广度. *心理学报*, 1985, 17(4): 361—367
- 7 Baddeley A. The magical number seven: Still magic after all these years?. *Psychological Review*, 1994, 101(2): 353—356
- 8 Cohen J D, Perlstein W M, Braver T S, et al. Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 1997, 386: 604—608
- 9 Gevins A, Smith M E, McEvoy L, et al. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cerebral Cortex*, 1997, 7(4): 374—385
- 10 Lee C L, Estes W K. Order and position in primary memory for letter strings. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1977, 16: 395—418
- 11 Lewandowsky S, Murdock B B Jr. Memory for serial order. *Psychological Review*, 1989, 96(1): 25—57
- 12 张达人, 江雄, 唐孝威. 视空间和听觉数字记忆的混合广度. *心理学报*, 1997, 29(3): 224—239
- 13 Murdock B B Jr. Developing TODAM: Three models for serial-order information. *Memory & Cognition*, 1995, 23(5): 631—645
- 14 Howe E, Jung K. Immediate memory span for two-dimensional spatial arrays: Effects of pattern symmetry and goodness. *Acta Psychologica*, 1986, 61: 37—51
- 15 Shiffrin R M, Cook J R. Short-term forgetting of item and order information. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1978, 17: 189—218
- 16 Murdock B B Jr. The serial position effect of free recall. *Journal of Experimental Psychology*, 1962, 64(5): 482—488

## SHORT-TERM MEMORY ON VISUO-SPATIAL LOCATION: FROM SUBSPAN TO SUPRASPAN

Chen Xiangchuan<sup>1,3</sup>   Zhang Daren<sup>1,3</sup>   Tang Xiaowei<sup>2,3</sup>

(<sup>1</sup>*School of Life Science, China University of Science and Technology, Hefei, 230026,* <sup>2</sup>*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing, 100039,* <sup>3</sup>*Center for Brain Science, China University of Science and Technology, Hefei, 230026*)

### Abstract

Short-term memory (STM) on visuo-spatial location has been studied from subspan to supraspan. The results showed that memory load had different effects on the memory of spatial location and the memory of time order information. For the memory of spatial location, better performance was observed with higher memory load. The memory of time order information, however, increased first and then decreased when memory load increased. These results suggested that STM processing may change with different levels of memory load, and the resources of STM processing may be capacity-limited.

**Key words** visuo-spatial location, short-term memory (STM), supraspan, STM processing, resources of STM processing.