

视觉工作记忆更新操作过程独立于刺激类型*

岳珍珠 周晓林

(北京大学脑科学与认知科学中心, 北京大学心理学系, 北京 100871)

摘要 采用 4×2 被试内设计和 2-back 视觉工作记忆更新任务, 探讨不同刺激类型对任务的影响, 并且分离更新任务中的操作与存储成分。结果发现, 字母、具体意义的汉字、抽象意义的汉字以及图片的更新任务成绩没有差异, 表明更新是一种程序化的认知过程, 独立于刺激类型; 不同材料的再认成绩存在差异, 字母的再认率低于其它三种材料, 汉字的再认率也略低于图片, 表明更新任务中的存储与更新操作是相互独立的过程, 在作业任务上可以产生分离。

关键词 视觉工作记忆, 记忆更新, 刺激类型, 2-back。

分类号 B842.3

1 前言

记忆更新 (memory updating) 功能是根据新呈现的信息, 对工作记忆 (working memory, WM) 中的内容进行持续修正的能力^[1]。一般认为它是中央执行系统的主要功能之一。更新功能要求对 WM 中的内容进行动态的操作: 对新进入 WM 中的信息进行监控和编码, 以使之与当前进行的任务相关; 然后再适当地修正 WM 中的项目, 用新的更为相关的信息来代替那些已经不再与当前任务有关的信息。概括来说, 不同的更新任务主要都包含两个成分: 更新操作和与任务相关信息的存储^[2]。

以往研究发现工作记忆中, 当信息是通过听觉获得时, 呈现出与视觉相当不同的脑激活模式^[3]。但在工作记忆更新任务中, 不同通道类型的刺激更新成绩是一样的^[4]。在不同的通道 (视、听) 信息的更新过程激活了同样的脑区 (主要是左半球的背外侧前额皮层, 布洛卡区, 辅助运动区, 前运动区; 以及双侧顶叶皮层的上部和后部, 双侧的前扣带回; 以及右侧的小脑)。虽然在反应时上, 对视觉刺激的反应明显快于对听觉刺激的反应, 但在准确率上, 两者之间没有差别。这提示我们, 更新操作可能表现出与一般的工作记忆任务不同的模式, 即与刺激输入的通道无关。

虽然更新任务的操作可能独立于刺激输入的通道, 但在同一通道 (如视觉) 内部, 不同类型、不同性质的刺激材料是否具有相似的更新操作过程呢? 以往的许多研究发现, 人们对不同类型的刺激材料的记忆成绩是不一样的。Cavanaugh 发现, 不同材料的短时记忆容量按照数字、颜色、字母、字词、几何图形、随机图形、无意义音节依次下降^[5], 但对更新成绩、更新过程是否依不同材料的类型而有所差异, 目前几乎还没有研究。本研究将采用 N-back 范式, 考察 4 种实验材料 (英文辅音字母、抽象意义的汉语单字词、具体意义的汉语单字词、以及有意义并且可用汉语单字词命名的图片) 在视觉更新任务中是否存在作业成绩上的差异, 从而探讨视觉工作记忆中的更新操作是否受到材料性质的影响。

N-back 范式常用于考察记忆的更新能力。其中项目系列呈现, 被试要评估每个项目是否与 n 个项目之前的那一个相似或相关。这一任务一般包含编码、暂时保持和复述信息、系列顺序的追踪、更新和比较、以及运动反应等一系列过程。归纳起来, 它包含两种最主要的操作成分: 一个是要求被试在工作记忆中储存一个或多个项目, 项目数量取决于任务中 n 的值; 另一个是要求被试在每出现一个新项目时, 对工作记忆中的内容进行更新, 即删

收稿日期: 2004-8-2

* 本研究得到国家攀登计划 95-专-09 项目、国家自然科学基金委 30070260、30470569、60435010 项目、教育部科学技术重点项目基金 01002、02170 项目、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目基金和中国科学院知识创新工程方向性项目 KG CX2-SW-101 的资助。

作者简介: 岳珍珠, 女, 北京大学心理学系博士生。Email: pearlxyz@pku.edu.cn。

周晓林, 男, 北京大学脑科学与认知科学中心主任, 心理学系教授, 博士生导师。Email: xz104@pku.edu.cn。

除最旧的、加入最新的，并且在记忆中保持项目呈现的顺序。该任务显然既要求存储也要求加工。通过变化 n 值而增加任务负载的研究已经有很多^[6-10]，本实验中不再考察这一变量，只是利用 2-back 任务来考察不同刺激更新过程的一致性。

本研究主要考察以下两个方面的问题。首先，不同材料的更新操作是不是存在差异。已往的较多研究常采用无意义的材料（如字母，数字等），很少采用有意义的材料，更没有对它们加以对照。其次，对不同的材料，更新操作的更新成分和存储成分是否具有不同的表现。虽然许多研究明确区分了工作记忆中的存储和操作成分，但对于更新功能过程本身所具有的操作和存储成分并没有作明确区分。在 N -back 范式中，一般以 0-back 任务作为基线条件，这时并没有存储成分的参与；或以对项目序列呈现时前面几个固定项目的记忆准确性为基线条件。但更新过程中的存储是一种动态的存储，每次更新后被试的记忆中保持的项目是不同的，以固定项目的存储作为基线对照条件，无法恰当模拟更新过程中的存储。但是，对更新操作中即刻的记忆存储进行考察是比较困难的，本实验采用在每个更新任务序列结束后立即进行再认任务的方法，近似地分离出更新操作中的存储成分。

2 实验方法

2.1 被试

17 名本科生或研究生（6 男，11 女）参加了实验，年龄在 21 到 27 岁间，平均年龄为 23.1 岁。

2.2 实验设计

本实验为 4×2 被试内实验设计，更新刺激类型有 4 个水平，即英文辅音字母、抽象意义的汉语单字词、具体意义的汉语单字词、可以用汉语单字词命名的图片。执行要求有高和低 2 个水平，以更新速度（刺激间间隔为 1000/2000ms）来表达。变化执行要求的目的是考察它对更新操作成分和存储成分是否有不同的作用。

2.3 材料和仪器

刺激呈现在计算机屏幕的中央，被试离计算机 60cm。共有 4 种刺激材料：除了 L, W, Y 之外的所有英文辅音字母（共 18 个），18 个抽象意义的单字词，18 个具体意义的单字词，以及 18 幅有意义的可用单字命名的图。所选取的具体或抽象的单字在字频上匹配。所有刺激材料在屏幕上呈现的水

平和垂直方向的视角为：字母的视角为 $1.0^\circ \times 1.7^\circ$ ，汉字的视角为 $1.7^\circ \times 1.7^\circ$ ，图的视角为 $10.4^\circ \times 7.6^\circ$ 。

2.4 实验程序

正式实验由 4 个 BLOCK 组成，每个 BLOCK 中采用不同的刺激材料。BLOCK 间可以自由休息。一个 BLOCK 中有 12 个项目序列（试次，trial）。每个试次中包含更新任务和再认任务两部分，其中更新任务由 14 个项目组成，再认任务包含 8 个项目。在更新任务和再认任务前均有提示。被试按空格开始每个试次。

每个试次中，首先呈现注视点 2000ms，之后出现字母、单字或图 500ms，然后呈现 1000ms/2000ms 的注视点（取决于执行要求的高低），这样持续下去。更新任务采用 2-back 任务，要求被试决定每一个出现的项目是否与先前呈现过的、与之隔一个项目的那个项目相同。每个试次的更新任务共 14 个项目，其中前两个项目不需要做出反应，被试从第三个项目开始做反应。在整个实验序列中有 33% 的项目是匹配的项目，即每个序列中有 4 个项目是 2-back 的靶子。此外还包含 1-back 和 3-back 的干扰项目各 1 个，其余的为无关项目，且随机呈现。以字母为例，刺激的呈现如图 1 所示。

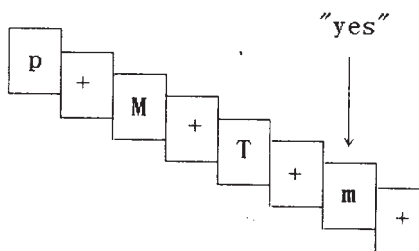


图 1 刺激呈现序列示例

字母材料呈现时以大小写混合呈现，汉字的呈现为红蓝两种颜色混合呈现。要求被试忽略大小写和颜色信息来做反应。这样可以排除被试进行简单知觉匹配上的可能性。

每个试次的更新任务结束后，要求被试完成 1 个再认任务。系列呈现 8 个项目，每个项目为 2000ms，项目之间呈现注视点 2000ms。8 个项目中有 4 个为刚才更新任务中出现过的词，4 个为新词。要求被试判断当前再认任务呈现的项目是否在刚才的更新序列中出现过。在实验时，要求被试优先保证第一部分的正确率，不需要为完成好再认任

务而在做更新任务时对项目进行有意记忆。

被试在实验之前更新任务的练习正确率达到 85% 以上, 方可进行正式实验。

3 实验结果

删除 1 名在更新任务中平均正确率低于 75% 的被试 (男), 最后共有 16 名被试的数据参与了最后的统计分析。不同条件下的作业成绩如表 1 所示。

表 1 被试完成更新任务及再认任务的平均成绩
(其中反应时为中数)

材料类型	执行要求高				执行要求低			
	字母	具体字	抽象字	图	字母	具体字	抽象字	图
更新反应时 (ms)	936	897	916	891	976	915	966	912
更新正确率 (%)	90.8	92.7	91.6	91.4	96.7	96.8	97.7	95.8
再认正确率 (%)	64.8	68.5	73.4	82.6	58.1	74.7	71.1	72.4

对更新任务进行重复测量的方差分析, 其中有两个被试内因素: 执行要求 (刺激间间隔 1000ms, 2000ms) 和刺激类型 (字母, 具体的汉字, 抽象的汉字, 以及图片)。反应时数据表明, 执行要求的主效应显著, $F(1,15) = 6.031, p < 0.05$, 表现为被试反应时在执行要求高时 (910ms) 显著快于执行要求低时 (942ms)。刺激类型的主效应不显著, $F(3,45) = 1.612, p > 0.1$, 且与执行要求没有交互作用, $F(3,45) = 0.753, p > 0.5$ 。这说明, 虽然在更新任务中对不同类型刺激的反应时在数值上有所不同, 但在本质上并没有绝对的差别。

更新任务正确率的模式表现出与反应时数据类似。执行要求的主效应显著, $F(1,15) = 23.734, p < 0.001$, 表现为被试反应的正确率在执行要求高时 (91.6%) 明显低于执行要求低时 (96.8%)。考虑到执行要求高低在反应时上的差异, 本研究表现出了反应时—正确率之间的权衡, 使得反应快时错误率也高。不同类型的刺激材料间没有差异, $F(3,45) = 0.832, p > 0.4$ 。与执行要求也没有交互作用, $F(3,45) = 0.13, p > 0.9$ 。

对再认任务中不同条件下的再认率 (正确反应的旧词—错误反应的新词) 进行重复测量的方差分析, 结果表明, 不同类型的材料间存在显著差异, $F(3,45) = 17.557, p < 0.001$ 。进一步分析表明, 对字母的再认率 (61.5%) 明显低于对具体汉字 (71.6%)、抽象汉字 (72.3%) 和图片 (77.5%) 的再认率。两种汉字之间没有差异, 但它们都略低于

对图片的再认率。更新材料和执行要求间的交互作用显著, $F(3,45) = 4.956, p < 0.01$ 。对二者间的交互作用做进一步的简单效应检验, 发现字母、具体汉字和抽象汉字 3 种材料的再认率在不同的执行要求下没有显著差异, 但图片的再认率在执行要求高时显著高于执行要求低时 ($p < 0.01$)。

4 讨论

4.1 不同类型材料的更新

视觉工作记忆系统对于人类的思维过程具有重要的作用, 但目前的已有研究一般都采用抽象刺激, 比如字母和数字 (如 Smith, 1996; Jonides, 1997) [61], 只有较少的研究采用了具体的词 (Clark, 2000) [12]。本研究中同时采用不同类型的视觉刺激材料, 除抽象的字母外, 还增加了具体意义的单字词, 抽象意义的单字词, 以及可用单字命名的实物图片, 发现材料之间在更新成绩上没有差异。这说明更新操作是一种程序化的认知过程, 独立于呈现的刺激类型。

本研究发现不同视觉刺激类型的更新操作没有差异, 那么其它类型的刺激, 包括任务类型、听觉通道内部等是否也表现出类似的模式? 更新过程功能上的一致性是否具有同样的神经基础? 有研究发现, 丘脑损害的病人在完成更新任务时, 相对于言语和空间的更新作业来说, 客体的更新成绩损害较少 [13], 这暗示着不同的更新任务可能具有不同的脑机制。Rama 等人采用不同情感的语音材料 (如生气、害怕、惊讶、责备的语调等), 完成从 0-back 到 2-back 3 个水平的更新任务, 结果发现一个在枕叶、顶叶, 以及额叶区域的分散性的神经网络参与不同情感的语音加工, 说明更新任务不一定只基于额叶, 可能随着采用的任务类型或刺激材料而有变化 [14]。Alexander 等人的研究也支持这一观点 [15]。他们采用 2-back 任务, 发现对语音 (voice) 和词 (word) 进行更新操作时, 二者涉及的神经系统是截然不同的。

早期的证据表明额叶和顶叶的激活与工作记忆中言语材料的保持和复述相关: 额下回以及与言语相关的区域用于复述, 而上顶皮层和后顶皮层与存储有关。本研究中采用不同视觉刺激材料, 尽管更新成绩在反应时和正确率上没有显著差异, 表现出功能层次上的一致性, 但它们是否使用相同的神经网络还有待于进一步的研究。

4.2 更新过程中操作与存储的分离

再认作业的结果表明,在完成更新任务时,不同材料在记忆中保持有所不同,越是抽象的材料保持效果就越差。这说明更新任务所涉及的2个成分,即更新操作过程与存储成分是相互独立的。Dick等人曾把N-back任务和Sternberg任务分别作为操作任务和存储任务,采用参数控制的方法来增加操作负载或存储负载,发现言语工作记忆任务中的操作和存储有区别地激活了同一区域^[16]。这一结果与本研究所发现的更新与再认分离是一致的。对于更新操作过程而言,无论刺激的性质如何,加工是否达到较深的(语义或形象)层次,更新操作针对的只是某种代码;而再认所依赖的存储则与刺激的特性、刺激加工的深度相关。

5 结论

(1) 工作记忆的更新是一种程序化的认知过程,独立于刺激类型。

(2) 更新任务中的存储与更新操作是相互独立的过程,在作业任务上可以产生分离。

参考文献

- Morris N, Jones D M. Memory updating in working memory: the role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 1990, 81: 111-121
- Collette F, Van der Linden M. Brain imaging of the central executive component of working memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2002, 26: 105-125
- Grasby P M, Frith C D, Friston K J, et al. Functional mapping of brain areas implicated in auditory-verbal memory function. *Brain*, 1993, 116: 1-20
- Schumacher E H, Lauber E, Awh E, et al. PET Evidence for an Amodal Verbal Working memory System. *NeuroImage*, 1996, 3: 79-88
- Cavanaugh J P. Relation between the immediate memory span and the memory search rate. *Psychological Review*, 1972, 79: 525-530
- Jonides J, Schumacher E H, Smith E E. Verbal working memory load affects regional brain activation as measured by PET. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1997, 9 (4) : 462-475
- Braver T S, Cohen J D, Nystrom L E, et al. A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *NeuroImage*, 1997, 5: 49-62
- Krause C M, Sillanmaki L, Koivisto M, et al. The effects of memory load on event-related EEG desynchronization and synchronization. *Clinical Neurophysiology*, 2000, 111: 2071-2078
- McAllister T W, Sparling M B, Flashman L A, et al. Differential working memory load effects after mild traumatic brain injury. *NeuroImage*, 2001, 14: 1004-1012
- Honey G D, Fu C H, Kim J, et al. Effects of verbal working memory load on Corticocortical connectivity Modeled by path analysis of functional magnetic resonance imaging data. *NeuroImage*, 2002, 17: 573-582
- Smith E E, Jonides J, Koeppe R A. Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cerebral Cortex*, 1996, 6: 11-20
- Clark R, Egan G F, McFarlane A C, et al. Updating working memory for words: A PET Activation study. *Human Brain Mapping*, 2000, 9: 42-54
- Kubat-Silman A K, Dagenbach D, Absher J R. Patterns of impaired verbal, spatial, and object working memory after thalamic lesions. *Brain and Cognition*, 2002, 50: 178-193
- Rama P, Martinkauppi S, Linnankoski I, et al. Working memory of identification of emotional vocal expressions: A fMRI study. *NeuroImage*, 2001, 13: 1090-1101
- Stevens A A. Dissociating the cortical basis of memory for voices, words and tones. *Cognitive Brain Research*, 2004, 18: 162-171
- Veltman D J, Rombouts S A, Dolan R J. Maintenance versus manipulation in verbal working memory revisited: a fMRI study. *NeuroImage* 2003, 18: 247-256

VISUAL WORKING MEMORY UPDATING: A COGNITIVE OPERATION INDEPENDENT OF STIMULUS TYPE

Yue Zhenzhu, Zhou Xiaolin

(Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

This study was to explore whether the nature of stimulus type influences the processes in visual working memory updating and whether the manipulation and maintenance components in updating can be differentiated experimentally. A 4 × 2 within-subject design was used, in which participants were given a visual 2-back task, followed by a recognition task in each trial. It was found that the updating components were essentially the same for letters, Chinese characters with concrete meaning, Chinese characters with abstract meaning, and object pictures, with no significant difference found in the updating performance. In contrast, for the maintenance components, the recognition performance was the worst for letters and the best for pictures, with Chinese characters in the middle. The results suggested that the manipulation components in visual working memory updating were cognitive operations independent of stimulus type, and updating manipulation and maintenance can be functionally dissociated.

Key words visual working memory, memory updating, stimulus type, 2-back.