

# 句子学习过程中的眼动特征

王葵<sup>1,2</sup>,翁旭初<sup>1</sup>

(1. 中国科学院心理研究所 脑高级功能实验室,北京 100101;

2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

**摘要:**为了探讨重复学习对于汉语句子理解的作用,采用眼动仪记录10名研究生被试连续5次阅读20个句子时的眼动模式。研究表明:随着阅读次数的增加,句子阅读时间依次缩短;注视点数目和回视次数逐渐减少;注视点的平均持续时间波动较小;平均眼跳距离逐渐加长;瞳孔尺寸逐渐变大。其中瞳孔尺寸的变化模式揭示了句子学习过程中可能存在作业难度和认知负荷之间的分离——随着阅读次数的增加,作业难度降低,而认知负荷逐渐升高。多种指标表明句子学习过程中知觉广度随阅读次数增加而加大。

**关键词:**眼动;句子学习;认知负荷;知觉广度

**中图分类号:**B842.1;G442 **文献标识码:**A

## The Analysis of Eye Movement Features in Sentence Learning Process

WANG Kui, WENG Xu-chu

(Laboratory for Higher Brain Function, Institute of Psychology,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** In order to explore the repetition effect of Chinese sentences to the on-line comprehending process, eye movements were recorded in 10 postgraduates while reading 20 sentences. Each sentence was repeated for 5 times. It was found that with the repetition, reading of each sentence became faster; fixation counts and the number of regression decreased; the saccade amplitude increased; the fixation duration kept unchanged; the pupil size enlarged. These findings suggest that there might be dissociation between the degree of difficulty to comprehend a sentence and the amount of mental load in the process of sentence learning, and the perceptual span is increased with learning.

**Key words:** eye movements; sentence learning; mental load; perceptual span

### 1 引言

句子是表达完整思想并具有一定语法特征的、最基本的言语单位<sup>[1]</sup>,其理解过程是随时间而展开的。通常的阅读或者学习过程中人们经常会重复阅读某些句子以理解其意义,然而以往的句子研究通常采用一个材料只呈现一次的范式,较少关注句子重复呈现的认知加工过程。虽然一些考察句子空间信息对阅读理解影响的文献牵涉到句子的重复,但是这类研究的真正目的在于考察

词间空格对于阅读的影响<sup>[2]</sup>。且使用的材料往往比较简单,正常的阅读过程中人们遇到这类句子并不需要重复,因而其研究结果对于理解人们如何重复阅读某些句子以达到理解并没有借鉴价值。全面把握句子加工过程需要考虑其实时性的特点,而眼动记录技术的优势即在于此。为此,本实验采用眼动仪记录成人重复阅读句子时的眼动模式,目的在于为汉语句子理解过程提供一些基

**基金项目:**国家自然科学基金(30425008)

**作者简介:**王葵(1979 - ),女,四川蒲江人,博士研究生,研究方向为认知神经心理学,(电话)010-64836689(电子信箱)wang kui @vip. sohu. net。

础数据。

## 2 方法

### 2.1 被试

参加正式实验的 10 名被试全部为中国科学院心理研究所研究生,男女各半,年龄在 25 ~ 29 周岁之间,均以汉语为母语,裸眼视力或矫正视力正常。

### 2.2 实验材料

实验材料为 20 个句子。筛选标准为: 不带情绪色彩; 字数在 31 ~ 38 个汉字之间; 句间无明显的意义联系; 有一定难度。材料分成 5 个组,每个组中 20 个句子随机呈现,共有 100 个实验材料。

### 2.3 实验仪器和程序

使用 SR Research 公司的 EyelinkII 型眼动仪,参数设定为:采样频率 500 Hz,记录方法为瞳孔反光。该设备由两台奔腾 PC 组成,通过以太网连接。一台微机显示材料,另一台记录被试信息,如眼球位置、瞳孔尺寸、按键情况等。屏幕分辨率为 1 024 × 768 dpi,刷新频率为 85 Hz。材料用小四号宋体、白底黑字显示。被试与屏幕之间的距离为 80 cm。实验前进行校准 (calibrate) 和确认 (validate)。要求被试尽可能保持身体和头部姿势固

定,按键动作尽量轻,其任务是理解句子。

单个句子呈现前,屏幕右边出现一个黑点,其作用是确认眼球记录的正确性。被试盯准黑点,按键后黑点消失,同时句子出现。每个句子呈现 5 s;若 5 s 内被试已经理解,也可主动按键结束。一个句子结束后屏幕中又会出现一个黑点,如此循环 100 次完成实验。单个被试实验总时间大约为 10 min。实验之前给被试足够的练习。实验后询问被试是否曾见过这些句子,以确认他们均是第一次接触实验材料。

## 3 结果与分析

一名被试在最后三遍的学习中没有主动按键结束句子的行为,其数据不参与统计。此外,个别被试连续按键,导致句子被跳过,这时剔除该被试与该句学习有关的其余 4 个数据。9 个被试中有 1 人跳过 2 个句子,另有 2 人各跳过 1 个句子,因此,有效数据个数为 20 (材料数) × 5 (学习次数) × 9 (有效被试人数) - 4 (跳过的句子数) × 5 (学习次数),即 880 个。全部指标均使用 EyeLink Dataviewer 输出,并使用 SPSS 11.5 进行统计分析。

本研究使用的主要分析指标包括:不同学习次数的学习时间、注视点数目及其持续时间、眼跳距离、瞳孔尺寸和回视次数。

表 1 五次学习中单个句子的时间和部分眼动指标的均数及标准差<sup>1)</sup>

学习次数	学习时间 ms	注视点数	注视持续时间 ms	眼跳距离(度)	瞳孔尺寸 <sup>2)</sup>	回视次数
第一次	4761.87 (397.51)	18.38 (1.31)	221.63 (25.78)	3.95 (0.48)	928.88 (290.26)	2.33 (0.28)
第二次	4269.07 (793.15)	16.38 (2.12)	218.10 (25.95)	4.19 (0.71)	970.60 (303.35)	1.95 (0.20)
第三次	3917.27 (694.11)	15.10 (1.94)	216.68 (27.97)	4.35 (0.71)	993.06 (330.75)	1.73 (0.14)
第四次	3790.95 (760.65)	14.48 (2.20)	223.02 (28.39)	4.40 (0.71)	1020.25 (344.77)	1.57 (0.24)
第五次	3572.35 (760.87)	13.79 (2.26)	217.00 (26.63)	4.48 (0.86)	1030.84 (348.78)	1.27 (0.19)

注:1)表中括号内数字为标准差;2)实验中被试的实际瞳孔尺寸和被试与屏幕间的距离有关,是一个没有单位的相对值。

从表 1 中可见 5 次学习后,被试的句子阅读时间依次缩短。重复测量的单因素的方差分析结果表明学习效应非常显著,  $F(4, 32) = 25.757, P = 0.000$ , 两两比较的结果表明除第三、四次,四、五次而外,各学习次数间的差异均达到显著水平。平均注视点数目从 18.38 个下降到 13.83 个,学

习效应著,  $F(4, 32) = 25.871, P = 0.000$ , 除第三、四次,四、五次外,各学习次数间都有明显的差异。注视点持续时间的波动范围仅仅为 6.34 ms,学习效应不显著,  $F(4, 32) = 0.991, P = 0.427$ 。这表明注视点的持续时间不受学习因素的影响。眼跳距离的学习效应显著,  $F(4, 32) = 9.389, P =$

0.000, 两两差异表现为前2次明显小于后3次, 这意味着经过前3次的重复后, 被试的眼跳距离相对稳定了。瞳孔尺寸依次增大, 学习效应显著,  $F(4, 32) = 5.974, P = 0.001$ 。两两比较结果表明, 第一次学习时的瞳孔尺寸明显小于其余各次。回视次数依次减少, 学习效应显著,  $F(4, 32) = 6.151, P = 0.001$ , 分析发现前两次明显大于后两次, 第三、四次的差异不明显。

#### 4 讨论

学习效应不仅使句子阅读时间明显缩短, 还影响了几乎所有的眼动指标: 注视点数目和回视次数逐渐减少; 平均眼跳距离逐渐加长; 瞳孔尺寸逐渐变大。且这些指标变化量均随学习次数的增加而减少。从统计上看第三次学习可能是一个明显的转折: 第三次以后, 总注视时间、注视点个数、眼跳距离、回视次数的改变不明显, 这表明大部分被试通过3次的学习已经能够理解材料了。学习过程中唯一没有发生改变的指标是注视点的平均持续时间, 其波动范围仅仅为6.34 ms。

虽然目前作者尚未查到研究句子学习过程中的眼动特征的文献, 但本实验的部分结果得到相关篇章研究的佐证。众多研究表明, 随着阅读难度的降低, 阅读相同字数文章的时间变短, 眼跳距离增大, 所需注视点和产生的回视次数都将减少<sup>[3~5]</sup>。同时, 英文段落重复学习的研究也得到类似的结果<sup>[6]</sup>。本研究中各材料彼此独立, 无上下文联系, 不易彼此干扰; 且一个材料在先后5次呈现时表达的意思一致。因此随着学习次数的增加, 学习者不断输入有助于理解的信息, 加速了建立心理表征的过程, 理解难度得以逐渐降低。

不少研究关注难度对注视点平均持续时间的影响, 不过目前尚无定论。有研究者认为被试在完成较难的任务时, 其平均注视持续时间会变长<sup>[7]</sup>; 与此同时, 另有研究发现材料难度对注视点持续时间并无影响<sup>[8]</sup>。我们的实验结果和后者相似, 发现注视点持续时间对材料难度不敏感。实验结果不一致的原因一方面可能与注视点平均持续时间的计算方法有关: 部分研究者仅仅计算了第一遍阅读时的注视点; 另外一些研究则考虑了所有的注视点。这两种计算方法各有优缺点, 本研究采用后一种计算方法。另一方面注视点持续时间受多种因素的影响。正如 Vitu 等人在研究最佳注视点的逆转效应时所言: “阅读中的注视持

续时间是一个多变量作用的结果, 语言水平和知觉水平的因素都是可能的影响源<sup>[9]</sup>。

影响瞳孔尺寸的因素有光强度、情绪和认知负荷。Daniel 等的研究表明, 计算难度越高, 瞳孔尺寸越大<sup>[10]</sup>; Carpenter 和 Just 发现, 相对于结构简单的句子而言, 理解结构复杂的句子时的瞳孔尺寸要大一些<sup>[5]</sup>。沈德立考察了被试阅读文章和文章后的问题时学生的瞳孔变化模式, 发现被试在加工问题时, 瞳孔直径增加<sup>[8]</sup>。如上所述, 众多眼动指标表明材料加工的难度随学习次数的增加而逐渐降低。然而, 被试的瞳孔尺寸却随难度的降低而逐渐升高。整个实验过程中光强度未发生改变, 且选材过程中严格控制了材料的情绪色彩, 因此导致这种矛盾的可能原因有三: 一是被试疲劳, 影响了情绪; 二是重复呈现被试已经理解的材料导致情绪唤起; 三是任务难度和认知负荷之间出现了分离。首先, 本实验全部时间为10 min左右, 和许多认知心理学研究相比, 时间并不足以引起疲劳效应。换言之, 如果本实验中被试的瞳孔尺寸受到疲劳效应的影响, 那么其它研究也不能免受疲劳效应的影响。其次, 使用的材料具有一定的难度, 平均字数为32.1个, 且呈现时间仅为5 s, 一般的被试要到第三、四次学习时才能达到理解。即便存在这么一种可能: 在最后一两次的学习时, 被试的瞳孔尺寸会受到因再次阅读已经理解的材料而唤起的某种情绪的影响。那么这种看法也不能解释第一次学习后瞳孔尺寸的显著增加。因此, 最可能的原因就是学习过程中出现了难度和认知负荷的分离。当然这种说法还需要更加严密的证据。

通过注视点摄取信息是个体向大脑输入视觉信息的唯一可能途径, 单个注视点能有效摄取信息的范围即注视广度。从表1中可以看出5次学习中注视点数目减少, 平均注视持续时间仅有微小的波动。计算各次学习中单个句子的总注视时间, 分别为: 4 086.05 ms、3 588.62 ms、3 296.99 ms、3 236.49 ms 和 3 017.94 ms。这表明通过学习, 被试使用较少的注视点在更短的时间内就能够完全知觉句子中的信息, 也即学习增加了被试的知觉广度。同时计算每次注视点能有效知觉的字数, 分别为: 1.75个、1.96个、2.12个、2.21个和2.32个, 这也说明注视广度在不断加大。

(下转第10页)

- and Action(D): The Role of Grouping in the Response-cuing Paradigm[J]. *Cognitive Psychology*, 2003, 46(3): 302-358.
- [5] Reeve T G, Proctor R W. On the Advance Preparation of Discrete Finger Responses [J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1984, 10(4): 541-553.
- [6] Reeve T G, Proctor R W, Weeks D J, et al. Saliency of Stimulus and Response Features in Choice-reaction Tasks [J]. *Perception & Psychophysics*, 1992, 52(4): 453-460.
- [7] Reeve T G, Proctor R W. Nonmotoric Translation Processes in the Preparation of Discrete Finger Responses: A Rebuttal of Miller's (1985) Analysis[J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1985, 11(2): 234-241.
- [8] Adam J J. Manipulating the Spatial Arrangement of Stimuli in a Precuing Task[J]. *Acta Psychologica*, 1994, 85(3): 183-202.
- [9] Vu K, Proctor R W. Determinants of Right-left and Top-bottom Prevalence Effects for Two-dimensional Spatial Compatibility Effects[J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2001, 27(4): 813-828.
- [10] Vu K, Proctor R W. The Prevalence Effect for Two-dimensional S-R Compatibility is a Function of the Relative Saliency of the Dimensions [J]. *Perception & Psychophysics*, 2002, 64(5): 815-828.

[收稿日期]2005-01-25

[修稿日期]2005-06-12

(上接第3页)

## 5 结论

(1) 随着学习次数的增加,句子阅读时间依次缩短;注视点数目和回视次数逐渐减少;注视点的平均持续时间波动较小;平均眼跳距离逐渐加长;瞳孔尺寸逐渐变大。

(2) 句子学习过程中可能存在作业难度和认知负荷之间存在分离——随着学习次数的增加,作业难度降低,而认知负荷逐渐升高。

(3) 句子学习过程中知觉广度随学习次数加大而增加。

致谢:本实验的材料呈现程序得到加拿大 SR Research 公司沈基业同志的热情帮助;中国科学院心理研究所认知实验室任衍具博士在材料选择上给予帮助,在此一并表示感谢!

## 参考文献:

- [1] 高名凯, 王安石. 语言学概论[M]. 北京: 中华书局, 1987.
- [2] Inhoff A, 刘伟民, 王坚, 等. 汉语句子阅读中的眼动与空间信息的运用[M]. 彭聃龄. 汉语认知研究. 济南: 山东教育出版社, 1997: 296-312.
- [3] 韩玉昌, 任桂琴. 小学一年级数学新教材插图效果的眼动研究[J]. *心理学报*, 2003, 35(6): 818-822.
- [4] Rayner K. Eye Movements and Perceptual Span in Beginning and Skilled Readers [J]. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1986, 41(2): 211-236.
- [5] Just M A, Carpenter P A. A Theory of Reading: From Eye Fixations to Comprehension [J]. *Psychological Review*, 1980, 87(4): 329-354.
- [6] Hyona J, Niema P. Eye Movements During Repeated Reading of a Text [J]. *Acta Psychologica*, 1990, 73(3): 259-280.
- [7] Rayner K. Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research [J]. *Psychological Bulletin*, 1998, 124(3): 372-422.
- [8] 沈德立. 学生汉语阅读过程中的眼动研究[M]. 北京: 教育科学出版社, 2001.
- [9] Vitu F, McConkie G W, Kerr P, et al. Fixation Location Effects on Fixation Durations During Reading: An Inverted Optimal Viewing Position Effect [J]. *Vision Research*, 2001, 41(26): 3513-3533.
- [10] Daniel V M, Rebecca P, Michael J M, et al. Task Analysis Complements Neuroimaging: An Example from Working Memory Research [J]. *NeuroImage*, 2004, 21(3): 1026-1036.

[收稿日期]2005-03-25

[修回日期]2005-08-09