

视觉大细胞通路对汉字识别的影响*

赵 婧^{1, 2)} 毕鸿燕^{1)**} 钱 怡^{1, 2)}

(¹⁾中国科学院心理研究所, 行为科学所重点实验室, 北京 100101; (²⁾中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 我们研究的目的是探查视觉大细胞系统在汉字识别中的作用. 研究以 24 名大学生正常阅读者作为被试, 通过调控汉字材料的空间频率和时间频率区分出大细胞通路敏感刺激和正常视觉刺激两种条件, 并采用整体/部件字形判断任务来比较在不同视觉条件下, 被试加工汉字整体和部件信息的过程, 记录反应时和错误率. 结果表明, 在大细胞条件下, 被试对整字信息的判断要显著快于对部件的判断, 即出现整体优先效应. 而在正常视觉条件下, 整体和部件判断的反应时无显著差异. 同时, 在大细胞条件下, 被试进行部件判断的错误率显著高于整体判断, 在正常视觉条件下两者差异不显著. 研究结果表明视觉大细胞通路促进了汉字整体信息的加工.

关键词 视觉大细胞通路, 汉字识别, 空间频率, 时间频率, 整体优先效应

学科分类号 B842.5, B845.2

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2012.00262

词汇识别除了与其字形、语音、语义加工过程有关, 还包括语言层面之下的对单词视觉特征的分析加工过程. 类似于其他视觉输入, 单词的视觉信息经过皮层下视觉加工通路传导至视觉皮层加工区, 并进一步投射到高级语言加工皮层完成单词语音、语义的表征^[1-2]. 皮层下的视觉加工通路主要分为大细胞通路和小细胞通路, 它们在结构上的分离始于视网膜. 图 1 描述了视觉信息的传导通路.

在视网膜上有 M 型细胞和 P 型细胞, 前者主要分布在视网膜外周, 后者主要集中在视网膜中央凹附近. 两类细胞接收各自的视觉信息输入, 并通过视神经束分别传导至外侧膝状体的大细胞层和小细胞层, 之后这些视觉输入被进一步分别投射到初级视皮层^[3]. 大细胞通路主要对低空间频率、高时间频率、低对比度的视觉信息敏感, 如模糊的轮廓、快速移动的刺激. 小细胞通路负责加工高空间频率、低时间频率和高对比度的视觉信息, 如物体的细节和颜色^[3-4]. 对于皮层上的视觉信息传导, 大脑背侧通路主要接收由皮层下大细胞通路传导的视觉信息, 如背侧通路的视觉运动区(MT 区)^[5]. 已有研究表明, 大细胞通路的加工水平与图片命名、正字法相似性判断等阅读技能测试成绩有显著正相关^[6-8]. 来自阅读障碍的研究也表明, 阅读障碍者外侧膝状体上的大细胞的解剖结构与正常阅读者相比, 表现

为数量少、体积小、发育不良^[9-10]. 在行为数据上, 相比于同年龄正常阅读者, 阅读障碍者在知觉低空间频率和高时间频率的视觉刺激时的对比度敏感性更低^[11]、对一致性运动点的知觉判断阈值更高^[12]. 阅读障碍者在加工快速运动的刺激时, 对应的 MT 区的激活强度也显著低于正常阅读者^[13-15].

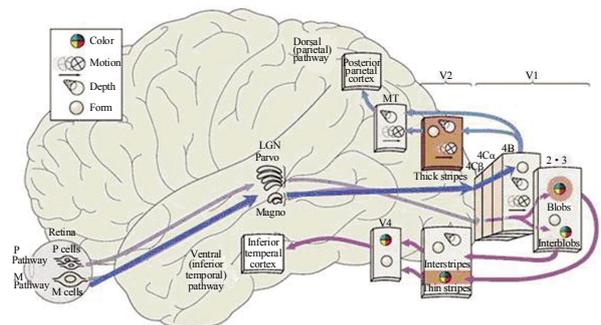


Fig. 1 Magnocellular pathway and parvocellular pathway in visual system

From Yu Y G. Visual Neural Science: Constructing the Visual Image.
<http://camelot.mssm.edu/~ygyu/constructingvisualimage.html>

* 国家自然科学基金资助项目(30970910).

** 通讯联系人.

Tel: 010-64842728, E-mail: bihy@psych.ac.cn

收稿日期: 2012-05-31, 接受日期: 2012-08-23

已有研究表明, 低空间频率或高时间频率促进视觉刺激的整体加工^[16-17], 而这些视觉条件对应着大细胞系统活动的敏感范围. 据此, Boden 等^[18]预期大细胞通路将促进单词的整体识别过程. 他们通过调节英文单词的空间频率区分出不同的视觉条件, 以探清视觉大细胞传导通路与阅读过程的关系, 其中低空间频率对应大细胞系统的活动. 在该研究中, 被试为正常阅读者, 他们的任务是对这些目标刺激进行词汇判断, 结果并未发现低空间频率对字词识别的促进作用, 于是, 作者认为大细胞通路并不直接影响字词识别. 但是, 在此研究中, 大多数被试在低空间频率下的正确率不足 50%. 在这种前提下, 将被试在不同视觉条件下的反应时进行直接比较, 所得结果很难排除任务难度的影响. 而在以汉字为刺激材料的研究中, 研究者采用整字 / 部件字形判断任务比较在某一视觉条件下汉字整体和部件信息的加工过程, 结果表明, 被试在加工低空间频率的汉字时出现了整体优先效应, 即整字判断比部件判断的反应时更短、正确率更高^[9]. 除了实验范式的原因, 材料的语言特异性也可能会影响实验结果. 在拼音文字的加工过程中, 语音技能起着关键作用. 与拼音文字不同, 汉字阅读中正字法 / 字形加工技能起着比语音加工更重要的作用^[20-21], 而大细胞通路的加工水平与正字法加工技能紧密相关^[8], 这或许也是导致中英文研究结果差异的原因之一. 同时, 以上两个研究都仅调控了文字材料的空间频率, 并未考虑其时间频率, 而严格的大细胞通路活动需要同时将刺激的视觉物理属性设置为低空间频率和高时间频率^[22]. 所以, 这两个研究都不是在严格的大细胞条件下进行的. 本研究拟通过同时调节目标刺激的时间频率和空间频率区分出大细胞通路敏感的视觉条件, 同时以正常视觉条件作为对照, 采用整体 / 部件字形判断任务, 以反应时和错误率为指标, 探查被试在大细胞

条件下对汉字的整体和部件信息的加工情况.

1 方 法

1.1 被试

25 名大学生(其中 12 名男生), 年龄 19~25 岁, 平均年龄(22 ± 1)岁, 视力或矫正视力正常. 实验完成后给予一定报酬.

1.2 实验设计和材料

实验为 2(视觉条件: 大细胞通路 *vs.* 正常视觉条件) \times 2(任务类型: 整体判断 *vs.* 部件判断)的两因素被试内设计. 在大细胞条件下, 目标字的空间频率为 1.5 周 / 度(cpd), 呈现时间为 66 ms. 在正常视觉条件下, 目标字的空间频率未被调节, 呈现时间为 500 ms.

目标字共 80 个, 其中大细胞条件和正常视觉条件各 40 个. 为了满足整体 / 部件字形判断的需要, 有另外 80 个探测刺激与目标字相匹配, 其中, 用于整体和部件判断的探测刺激分别 40 个. 为了控制字频和语音、语义自动激活等因素的影响, 实验中的目标字和整字探测刺激均为左右结构的假字, 部件探测刺激为不成字的部件, 具体材料请见络版附录 (http://www.pibb.ac.cn/cn/ch/common/view_abstract.aspx?file_no=20120262&flag=1). 在整体判断中: 20 个探测刺激与目标刺激完全相同, 对应“是”反应; 其余 20 个探测刺激与目标刺激的左、右部件均不相同, 对应“否”反应. 在部件判断中: 20 个探测刺激与目标刺激相应位置上的部件相同, 对应“是”反应; 其余与目标刺激的相应部件不同, 对应“否”反应. 由于右侧不成字部件较少, 在每种视觉条件下, 均为 15 个部件探测刺激位于左侧, 5 个位于右侧. 目标字、探测刺激(包括整字和部件)的笔画数在两种视觉条件下的差异不显著(表 1).

Table 1 The mean number of stimulus strokes in each condition

	Control		Magnocellular		<i>t</i> -test	
	Mean	SD	Mean	SD		
Target	7.25	1.12	7.30	1.13	0.141	
Probe	Global	7.00	0.94	7.10	1.91	0.148
	Local	3.20	0.79	2.70	0.67	1.523

Global: Global decision; Local: Local decision.

大细胞条件下的目标刺激由 ImageJ 1.42q 图形处理软件生成, 探测刺激的空间频率处于未被调节的正常状态. 目标刺激和探测刺激均为黑体汉字或部件, 视距为 50 cm. 整字的实际大小为边长 3.17 cm 的正方形, 部件的实际大小是 1.85 cm×3.17 cm 的长方形. 采用 Eprime 1.0 编制实验程序, 并在屏幕分辨率为 1024×768 的 12.1 英寸的 DELL 笔记本电脑上呈现, 屏幕刷新频率为 62.3 Hz.

1.3 实验程序

根据两种视觉条件, 将正式实验分成两组. 在每组中, 整体判断和部件判断等概率地随机呈现. 如图 2 所示, 注视点、目标刺激、提示信息, 以及探测刺激依次出现在屏幕中央. 其中, 目标刺激在大细胞条件呈现 66 ms, 在正常视觉条件呈现

500 ms. 根据已有研究^[23], 实验采用 4 点提示注视以避免中央视野的视觉后效对知觉目标刺激产生影响, 注视点呈现 500 ms. 提示信息呈现 1 000 ms, 然后探测刺激出现, 并且直到被试反应后才消失. 在整体判断时, 提示信息是与整字同样大小的正方形横竖光栅; 在部件判断时, 提示信息是长方形横竖光栅, 大小为整体判断时的 1/2, 其呈现位置(左侧或右侧)与随后出现的部件探测刺激的位置相对应. 被试的任务是判断目标刺激的整体或者相应部件与探测刺激是否相同, 相同按鼠标左键, 不同按鼠标右键. 被试反应之后给予其判断正误的声音反馈. 在每组正式实验之前, 分别进行 8 次练习, 练习部分采用与正式实验不同的刺激材料.

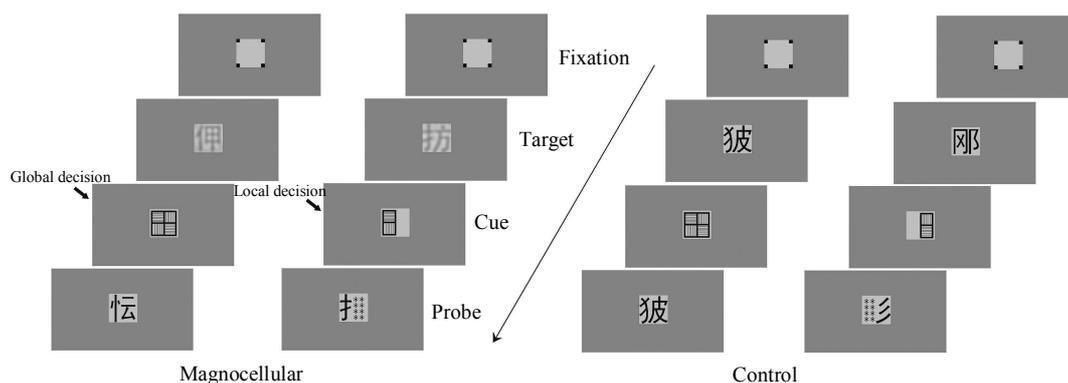


Fig. 2 The presentation format of each trial in different conditions

1.4 数据处理

用 SPSS 16.0 进行数据录入和处理. 在正式统计分析之前, 剔除错误率高于 50% 的 3 名被试, 并对余下的 21 名被试(其中 10 名男生)的反应时按照平均数加减 3 个标准差的标准进行剔除, 然后再对有效的反应时和错误率数据分别进行两因素重复测量方差分析.

2 结果

被试在各条件下的平均反应时和错误率见表 2. 对反应时进行方差分析的结果表明: 视觉条件的主效应不显著 $[F(1, 20)=0.066, P=0.799]$; 判断类型的主效应显著 $[F(1, 20)=7.75, P=0.011<0.05]$, 整体判断快于部件判断; 两因素交互作用显著 $[F(1, 20)=10.24, P=0.005<0.01]$. 对交互作用进行简单效应

分析, 结果表明: 在视觉大细胞条件下, 被试判断整体的速度显著快于部件判断 $[F(1, 20) = 12.88, P=0.02 < 0.05]$, 即出现整体优先效应; 而在正常视觉条件下整体和部件判断的反应时无显著差异 $[F(1, 20)=0.01, P=0.929]$.

对错误率进行重复测量方差分析的结果表明: 视觉条件的主效应显著 $[F(1, 20)=43.50, P<0.001]$, 大细胞条件下的错误率高于正常视觉条件; 判断类型的主效应显著 $[F(1, 20)=6.66, P=0.018<0.05]$, 部件判断的错误率高于整体判断; 两因素交互作用显著 $[F(1, 20)=5.17, P=0.034<0.05]$. 简单效应分析的结果表明: 在视觉大细胞条件下整体判断的错误率更低 $[F(1, 20)=6.69, P=0.018<0.05]$; 在正常视觉条件下, 整体和部件判断间的差异不显著 $[F(1, 20)=2.43, P=0.135]$.

Table 2 Mean reaction times (RTs) and error rates (ERs) in each condition

	Global decision		Local decision		F-test
	Mean	SD	Mean	SD	
Magnocellular					
RTs (ms)	866	244	981	329	12.88*
ERs (%)	17	14	28	16	6.69*
Control					
RTs (ms)	939	126	937	165	0.01
ERs (%)	3	5	6	5	2.43

* $P < 0.05$.

3 讨 论

本研究结果表明,在大细胞条件下,与部件判断相比,被试进行整体判断的反应时更短、错误率更低。而在正常视觉条件下,整体和部件判断在反应时和错误率上均无显著差异。在严格控制了汉字材料的空间频率和时间频率的前提下,本研究发现了视觉大细胞条件下的整体优先效应,说明大细胞系统在一定条件下影响汉字识别。前人研究发现,正常阅读者对低空间频率或高时间频率的视觉输入更倾向于加工刺激的整体信息^[16-17],而低空间频率与高时间频率对应着大细胞通路活动的敏感范围。本研究结果与其一致,均体现出大细胞系统对视觉整体信息加工的促进作用。

根据单词识别的多通道模型(the multistream model of visual word recognition)^[24],词汇加工包括整词和局部(字母)两个水平的信息加工,整词信息主要由视觉大细胞通路负责传导,局部视觉信息主要由小细胞通路负责传导,并且两条通路间的信息传导存在相互竞争的作用关系。同时,每条通路会采集各自敏感的空间频率信息,并以不同的加工速率对词汇的视觉字形进行编码和分析。大细胞通路能快速地采集和加工低空间频率的视觉信息,小细胞通路则以相对较慢的速度完成对词汇高空间频率信息的采集和处理。该模型反映出大细胞系统与字词识别过程有关,经由大细胞通路传导的整词信息能促进字词的整体识别。同时,由于小细胞通路传导视觉信息的滞后,字词部件等局部信息的加工相比于整体信息而言将被延后。本研究结果表明,在正常视觉条件下,整体和局部信息加工的差异并不显著。但当视觉刺激是快速闪现的低空间频率汉字时,目标刺激的视觉物理属性对应着大细胞通路活动的敏感范围,在这种视觉条件下的大细胞通路被

显著激活。通过大细胞通路的快速传导,汉字的初级整体视像很快便形成,进而促进了汉字整体信息的加工,表现出整体优先效应。

以往关于汉语阅读障碍的研究说明了大细胞通路与汉语阅读能力的关系。已有研究表明,汉语发展性阅读障碍者存在大细胞通路缺陷,表现为在判断快速移动的低空间频率光栅刺激运动方向的反应时上显著长于控制组儿童,这种组间差异也出现在视觉失匹配负波(vMMN)的波幅比较中^[25]。阅读障碍者对一致性运动点的探测阈限也显著高于同年龄正常阅读者^[7]。目前,发展性阅读障碍的大细胞通路缺陷理论仍存在争论,有些拼音文字的研究发现阅读障碍者在加工大细胞通路敏感的刺激时并未表现出对比度敏感性的下降^[26-27]。而本研究结果反映出,在汉字加工中,视觉大细胞通路能促进单字整体水平的识别和加工,为阅读障碍的大细胞通路缺陷理论提供了支持性的证据。这样不同的研究结果暗示大细胞通路缺陷与阅读的关系可能与不同的语言文字特点有关。今后的研究可以进一步对比有大细胞通路缺陷和无双细胞通路缺陷的汉语阅读障碍者在汉字识别方面的表现是否存在差异。另外,大细胞通路还与视觉空间注意、位置编码、运动加工、眼动控制等其他与阅读相关的因素存在紧密联系^[28],那么有大细胞通路缺陷的汉语阅读障碍者在这些认知过程中的表现又如何?这些问题还有待于进一步的探讨。

参 考 文 献

- [1] Bullier J. Integrated model of visual processing. *Brain Res Rev*, 2001, **36**(2-3): 96-107
- [2] Rauschecker A M, Bowen R F, Perry L M, *et al.* Visual feature-tolerance in the reading network. *Neuron*, 2011, **71**(5): 941-953
- [3] Kaplan E. The P, M and K streams of the primate visual system: what do they do for vision?//Allan I B, Akimichi K, Gordon M S,

- Gerald W. *The Senses: A Comprehensive Reference*. San Diego: Academic Press, 2008: 369–382
- [4] Shapley R. Visual sensitivity and parallel retinocortical channels. *Annu Rev Psychol*, 1990, **41**: 635–658
- [5] Maunsell J H, Nealey T A, DePriest D D. Magnocellular and parvocellular contributions to responses in the middle temporal visual area (MT) of the macaque monkey. *J Neurosci*, 1990, **10**(10): 3323–3334
- [6] Ben-Shachar M, Dougherty R F, Deutsch G K, *et al.* Contrast responsivity in MT⁺ correlates with phonological awareness and reading measures in children. *NeuroImage*, 2007, **37**(4): 1396–1406
- [7] Meng X Z, Cheng-Lai A, Zeng B, *et al.* Dynamic visual perception and reading development in Chinese school children. *Ann Dyslexia*, 2011, **61**(2): 161–176
- [8] Stein J. Visual motion sensitivity and reading. *Neuropsychologia*, 2003, **41**(13): 1785–1793
- [9] Livingstone M, Rosen G, Drislane F, *et al.* Physiological and anatomical evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1991, **88**(18): 7943–7947
- [10] 王久菊, 毕鸿燕, 卫垌圻, 等. 发展性阅读障碍的产生机制——从行为到遗传研究. *生物化学与生物物理进展*, 2008, **35**(7): 729–734
Wang J J, Bi H Y, Wei T Q. *Prog Biochem Biophys*, 2008, **35**(7): 729–734
- [11] Lovegrove W J, Martin F, Blackwood M, *et al.* Specific reading difficulty: Differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 1980, **210**(4468): 439–440
- [12] Cornelissen P C, Stein J F. Contrast sensitivity and coherent motion detection in dyslexia. *Vision Res*, 1995, **35**(10): 1483–1494
- [13] Demb J B, Boynton G M, Heeger D J. Brain activity in visual cortex predicts individual differences in reading performance. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1997, **94**(24): 13363–13366
- [14] Demb J B, Boynton G M, Heeger D J. Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *J Neurosci*, 1998, **18**(17): 6939–6951
- [15] Eden G F, VanMeter J W, Rumsey J M, *et al.* Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 1996, **382**(4): 66–69
- [16] Aspell J E, Wattam-Bell J, Braddick O. Interaction of spatial and temporal integration in global form processing. *Vision Res*, 2006, **46**(18): 2834–2841
- [17] Guttman S E, Gilroy L A, Blake R. Spatial grouping in human vision: Temporal structure trumps temporal synchrony. *Vision Res*, 2007, **47**(2): 219–230
- [18] Boden C, Giaschi D. The role of low-spatial frequencies in lexical decision and masked priming. *Brain Cognition*, 2009, **69**: 580–591
- [19] 郭小朝. 汉字识别早期知觉过程中的整体优先效应. *心理科学*, 2000, **23**(5): 576–581
Guo X C. *Psychol Sci*, 2000, **23**(5): 576–581
- [20] Ho C S H, Chan D W O, Lee S H, *et al.* Cognitive profiling and preliminary subtyping in Chinese developmental dyslexia. *Cognition*, 2004, **91**(1): 43–75
- [21] Shu H, McBride-Chang C, Wu S, *et al.* Understanding Chinese developmental dyslexia: Morphological awareness as a core cognitive construct. *J Educ Psychol*, 2006, **98**(1): 122–133
- [22] Skottun B C. The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Res*, 2000, **40**(1): 111–127
- [23] Leonova A, Pokorny J, Smith V C. Spatial frequency processing in inferred PC- and MC-pathways. *Vision Res*, 2003, **43**(20): 2133–2139
- [24] Allen P A, Smith A F, Lien M C, *et al.* A multistream model of visual word recognition. *Atten Percept Psycho*, 2009, **71**(2): 281–296
- [25] Wang J J, Bi H Y, Gao L Q, *et al.* The visual magnocellular pathway in Chinese-speaking children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 2010, **48**(12): 3627–3633
- [26] Cornelissen P C. Fixation, contrast sensitivity and children's reading/Wright S F, Groner R. *Facets of Dyslexia and Its Remediation*. Amsterdam: Elsevier, 1993: 139–162
- [27] Mason A, Cornelissen P, Fowler S, *et al.* Contrast sensitivity, ocular dominance and specific reading disability. *Clin Vision Sci*, 1993, **8**(4): 345–353
- [28] Boden C, Giaschi D. M-Stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychol Bull*, 2007, **133**(2): 346–366

The Influence of Visual Magnocellular Pathway on The Recognition of Chinese Character*

ZHAO Jing^{1,2)}, BI Hong-Yan^{1)**}, QIAN Yi^{1,2)}

⁽¹⁾ Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

⁽²⁾ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The present study aimed to examine the role of visual magnocellular pathway in the recognition of Chinese character. Twenty-four university students took part in this study. We simultaneously manipulated the spatial frequency and temporal frequency of Chinese characters in order to dissociate two visual conditions, that is, the visual magnocellular (M) condition and visual control condition. And a global/local decision task was adopted here to get the comparison between global processing and local processing within each visual condition. The reaction time and error rate were recorded. Results showed that in the M condition, participants responded faster in global decision than in local decision, a global precedence effect appeared; while non-significant difference in the control condition. Similarly, higher error rate was found for local decision comparing with global decision only in the M condition. It suggested that the visual magnocellular system contributes to the global processing of Chinese character.

Key words visual magnocellular pathway, recognition of Chinese character, spatial frequency, temporal frequency, global precedence effect

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2012.00262

*This work was supported by a grant from The National Natural Science Foundation of China (30970910).

**Corresponding author.

Tel: 86-10-64842728, E-mail: bihy@psych.ac.cn

Received: May 31, 2012 Accepted: August 23, 2012

