

工作记忆表征捕获眼动中的颜色优先性*

张 豹¹ 黄 赛² 侯秋霞³

(¹ 广州大学教育学院/心理与脑科学研究中心, 广州 510006) (² 华南师范大学心理学院, 广州 510631)

(³ 嘉应学院教育科学学院, 梅州 514015)

摘 要 刺激属性所具有的引导效力在工作记忆表征自上而下地引导注意捕获过程中起重要作用, 已有研究表明工作记忆表征的颜色属性在引导注意时具有一定的优势。研究采用工作记忆任务与视觉搜索任务相结合的双任务范式, 结合眼动追踪技术, 通过设置具有较强引导效力的颜色属性与朝向属性进行直接竞争的实验条件, 进一步考察工作记忆表征的颜色属性是否依然具有优先性。实验 1 发现工作记忆表征的颜色属性与朝向属性同时竞争眼动捕获时, 颜色属性表现出较强的优势, 而朝向属性单独呈现时并未表现出任何捕获效应。实验 2 与 3 进一步证实了颜色属性捕获眼动的优先性, 即当颜色属性在面临作为靶子属性的朝向属性的竞争时, 依然能捕获更多的注视点。这些结果直接证实了工作记忆表征的颜色属性在工作记忆表征的捕获眼动的过程中具有较强的引导效力, 相对于其他刺激属性(如朝向、形状)更具有优先性。

关键词 工作记忆表征; 注意引导; 眼动捕获; 颜色优先性

分类号 B842

1 前言

日常生活中每时每刻都会有大量的刺激作用于人类感觉系统, 但人类有限的信息加工系统通常只允许少量刺激进行进一步加工, 这就需要一种有效的通道控制机制能从复杂的视觉环境中快速搜索刺激, 以优化对靶子刺激的选择。这种机制被认为是注意选择机制(Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 2007)。根据注意的偏向竞争模型(Desimone, 1998; Desimone & Duncan, 1995), 视野中呈现的刺激之间以相互抑制的方式进行竞争, 受不同因素的影响, 竞争最终偏向一些刺激, “获胜者”将获得注意, 以得到进一步的加工和反应。引导注意选择的方式一般包括两种: 第一种为自下而上的刺激驱动方式, 如视觉情境中的突显刺激容易捕获注意(如 Johnston, Hawley, Plewe, Elliott, & DeWitt, 1990); 另一种是自上而下的记忆驱动的方式, 如储存在工作记忆中的记忆表征会自上而下地增强与之相同或相似的刺激表征, 从而捕获注意(如 Olivers,

Meijer, & Theeuwes, 2006; Pan, 2010; Soto, Humphreys, & Heinke, 2006)。本研究主要关注后者, 即工作记忆表征驱动的注意选择。

工作记忆表征驱动的注意选择机制近年来得到了广泛研究与关注(见综述, Olivers, Peters, Houtkamp, & Roelfsema, 2011; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; 白学军等, 2011; 胡艳梅, 张明, 徐展, 李毕琴, 2013; 潘毅, 2010a, 2010b)。例如 Soto 及其研究团队在其系列研究中(Kumar, Soto, & Humphreys, 2009; Pan, Xu, & Soto, 2009; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Soto & Humphreys, 2007; Soto et al., 2006), 首先要求被试记住一个图形, 在工作记忆保持图形的过程中, 插入一个视觉搜索任务, 结果发现: 当与工作记忆表征具有共同特征的刺激在视觉搜索中出现时, 该刺激会捕获注意。而且这种工作记忆表征驱动的注意选择是一种较为自动化的过程(Soto et al., 2008), 广泛存在于工作记忆表征只与干扰刺激匹配的条件下(Olivers et al., 2006; Soto et al., 2006),

收稿日期: 2013-03-18

* 国家自然科学基金青年科学基金项目(31200854), 国家自然科学基金面上项目(31271113)。

通讯作者: 侯秋霞, E-mail: houqiuxia2005@126.com

注意选择的早期阶段(Mannan, Kennard, Potter, Pan, & Soto, 2010; Soto et al., 2005), 自动化程度极强的视觉搜索(Pan, 2010; Soto et al., 2006)等多种情境中。

然而, 并非所有的工作记忆表征都能捕获视觉注意。Zhang 等(2010)认为, 工作记忆表征对注意的捕获在某种程度上取决于工作记忆表征的刺激属性是否具有引导效力, 如果工作记忆表征包含有具有较强引导效力的刺激属性(如颜色)时(如 Soto et al., 2005, 2006), 该表征就容易捕获视觉注意, 但当工作记忆表征不包含具有较强引导效力的刺激属性时(如 Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Peters, Goebel, & Roelfsema, 2009), 该表征就难以捕获注意。为了证实这一推测, Zhang 等(2010)在实验 1 中将已观察到引导效应的 Soto 等(2005, 2006)实验的实验材料替换为 Peters 等(2009)所用的复杂图形, 而在实验 2 中将没有观察到引导效应的 Peters 等(2009)实验的实验材料替换为 Soto 等(2005, 2006)所用的彩色几何图形, 结果只在实验材料为彩色几何图形时观察到了工作记忆表征对注意的捕获效应, 从而证实了工作记忆表征的刺激属性对注意引导效应的决定性影响。Soto 等(2005, 2006)在其研究中通过操纵工作记忆表征与视觉搜索刺激之间刺激属性的匹配关系, 分离出 3 种匹配条件——颜色与形状都相同、颜色相同形状不同以及形状相同颜色不同, 结果发现: 当搜索刺激与记忆刺激的颜色与形状都相同、或颜色相同但形状不同时, 都能捕获更多的首次注视点, 且两种条件下眼动捕获的效应量没有显著差异; 但在形状相同而颜色不同条件下, 没有发现任何捕获效应。此结果表明研究中的捕获效应主要来自颜色属性, 而非形状属性, 即在工作记忆表征自上而下地引导视觉注意选择过程中, 工作记忆表征的颜色属性比形状属性对引导注意具有更大的优先性。

根据 Wolfe 和 Horowitz (2004)基于大量视知觉成果的总结, 发现不同刺激属性对引导注意的效力(effectiveness)是不一样的。有些属性, 如颜色、朝向, 大小, 在绝大部分研究中都发现可以有效地引导注意选择, Wolfe 和 Horowitz 称这些属性为可引导注意的“绝对属性(Undoubted attribute)”; 而另一些属性, 如形状, 对注意的引导效力要差一些, 只在部分实验情境中表现出对注意的引导, Wolfe 和 Horowitz 称这类属性为可引导注意的“可能属性(Probable attribute)”。有可能与外部的知觉表征一

样, 内部记忆表征的颜色属性与形状属性亦具有不同的注意引导效力, 从而导致 Soto 等(2005, 2006)研究中所出现的颜色优先性, 即无论是外部的知觉表征, 还是内部的记忆表征, 颜色属性对视觉注意的引导皆具有一定程度的优先性。

但要确定基于工作记忆表征的眼动捕获中的颜色优先性还需要进一步的实验证据。一方面, Soto 等(2005, 2006)的研究选用的是颜色属性与形状属性进行对比, 颜色属性与形状两种刺激属性对视觉注意的引导效力差异较大, 属于不同的级别, 前者显著大于后者(Wolfe & Horowitz, 2004)。如果工作记忆表征的颜色属性在面临着在视知觉层面具有同等级的引导效力的刺激属性的竞争, 例如朝向属性, 是否对注意的引导依然具有优先性? 另一方面, 如前所述, 在 Soto 等(2005, 2006)研究中, 工作记忆表征与搜索刺激间设置了 3 种不同的匹配关系, 其中工作记忆表征的刺激属性或单独出现在视觉搜索任务中作为其中一个干扰刺激的属性, 或同时出现且同属一个干扰刺激的属性, 通过比较不同的匹配条件下的注意引导效应, 来探究哪种刺激属性更能有效地引导注意。Soto 等(2005, 2006)的比较方式存在一个缺点, 当两种刺激属性都具有较强的注意引导效力时, 每种刺激属性单独出现都可能出现较强的引导效应, 这种匹配条件间的比较方式难以直接探讨两种刺激属性之间引导注意的相对优先性。

因此, 本研究采用眼动追踪技术, 选用颜色与朝向这两种被认为可绝对有效引导注意的属性(Wolfe & Horowitz, 2004)作为工作记忆表征的属性, 设计将两种刺激属性置于同一视觉搜索序列中以直接竞争注意捕获, 来实现两种刺激属性之间相对注意引导优先性的直接比较, 进一步系统探究工作记忆表征对眼动捕获过程中的颜色优先性。如果工作记忆表征的颜色属性对注意的引导具有优先性, 那么颜色属性对眼动捕获的效应量应大于朝向属性对眼动捕获的效应量。

2 实验 1: 颜色与朝向属性对眼动捕获的优先性比较

2.1 方法

2.1.1 被试

12 名未参加过类似实验的被试参加本实验, 年龄 19~24 岁, 平均年龄 21.67 岁, 无色盲色弱, 视力或矫正视力正常, 实验后给予报酬。

2.1.2 仪器与材料

实验在微暗的单间隔音实验室里进行, 刺激呈现在 17 英寸 CRT 显示器上(分辨率为 1024×768, 刷新频率为 85 Hz), 屏幕背景为灰色。程序采用 E-Prime 1.1 编程与运行。采用 Eyelink 1000 (SR Research, Ontario, Canada) 眼动仪采集眼动数据, 采样频率为 500 Hz。

刺激材料是由颜色与朝向两种属性随机组成的不同朝向的颜色条(2.2°×0.3°视角)。颜色由红、黄、蓝、绿 4 种可引导前注意定向的基本颜色组成(Wolfe, 1994), 朝向包括水平、垂直、左右倾斜各 45°角的斜线 4 种。4 种朝向之间最小差异为 45°角, 可认为能有效引导注意(Foster & Ward, 1991; Wolfe, 1994, 1998)。

2.1.3 程序

测试程序如图 1 所示, 每个测试开始时都会呈现一个白色的注视点, 注视点消失之后在屏幕中央呈现一根彩色条 1000 ms, 要求被试记住它的颜色与朝向。记忆刺激消失后, 呈现注视点 500 ms。接下来是视觉搜索任务。在视觉搜索任务中, 在屏幕左右 6°视角处各呈现一个彩色条(两者颜色与朝向彼此不同), 彩色条中各有一个黑色字符“#”或“\$”(高 0.5°视角, 宽 0.35°视角), 要求被试快速判断字符“#”出现在屏幕的左边(按鼠标左键)还是右边(按鼠标右键)。为了防止被试采用如下策略: “只注视屏幕一侧, 若发现没有靶子刺激, 就推测靶子在另一侧”, 在实验中有 20% 的 Catch 测试, 即不出现“#”, 此时被试无需按键, 否则视为错误。其余 80% 的测试中靶子刺激随机出现在屏幕的左右侧, 且概率相同。按键反应后搜索刺激立即消失, 间隔 500 ms 后出现一个记忆探测刺激, 要求被试按鼠标键判断探测刺激与记忆刺激是否相同。在 50% 测试中两者完全相同, 按左键反应, 而在另外 50% 的测试中两者在颜色或/和朝向上有所不同, 按右键反应。被试自主按键进入下一轮测试。

根据记忆刺激与搜索刺激的关系, 实验设置 5 种匹配类型: (1)完全匹配条件, 即视觉搜索中某个刺激与记忆刺激完全相同; (2)颜色匹配条件: 即记忆刺激的颜色属性与视觉搜索中某个刺激相同, 而记忆刺激的朝向属性不出现在视觉搜索中; (3)朝向匹配条件: 即记忆刺激的朝向属性与视觉搜索中某个刺激相同, 而记忆刺激的颜色属性不出现在视觉搜索中; (4)分别匹配条件: 即视觉搜索中一个刺激与记忆刺激的颜色相同(分别匹配-颜色条件), 另一

个刺激与记忆刺激的朝向相同(分别匹配-朝向条件); (5)控制条件: 即搜索序列中的刺激与记忆刺激没有任务刺激属性重合。每种匹配条件各 64 个测试, 正式实验共 320 个测试。正式实验之前有 20 个练习测试。

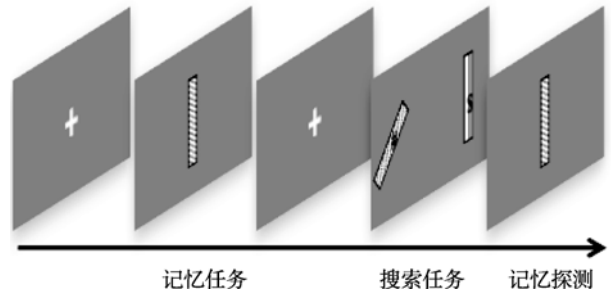


图 1 实验 1 测试图示

注: 图中不同条纹代表不同颜色

采用眼动仪同步记录被试右眼的眼动轨迹。实验开始前或被试休息之后都采用 9 点矩阵进行校正。在每次测试开始的注视点处进行漂移校正, 并在启动视觉搜索任务前要求被试将眼睛保持在注视点位置(注视点为中心 1.5 度视角的范围内皆可授受)。

2.2 结果分析与讨论

1 名被试 Catch 测试错误率太高(70%)而被剔除。剩余被试 Catch 测试平均正确率为 92.64%, 搜索任务的正确率为 99.36%, 记忆探测的平均正确率为 95.27%。

由于(1)反应时指标反映视觉输入到反应输出一系列非常复杂加工过程, 会导致在视觉搜索早期阶段产生的注意捕获效应受到晚期策略或认知控制等因素干扰而被掩盖, 因而不能精确反映工作记忆表征对注意的引导效应(张豹, 黄赛, 祁禄, 2013); (2)本研究主要关注刺激对眼动的捕获, 所以只对落在兴趣区内的首次注视点百分率进行分析, 而不对反应时数据进行分析。兴趣区被定义为以关键刺激为中心, 边长为 1.2°视角的正方形区域内。关键刺激指与记忆刺激有共同特征的搜索刺激。在控制条件中, 程序事先随机指定一刺激为关键刺激, 此刺激与控制条件中的另一刺激无任何差别, 且出现在左右两边的概率相同, 主要作为后期统计分析的基线。需要说明的是, 在分别匹配条件下, 关键刺激有两种, 一种为颜色匹配刺激, 另一种为朝向匹配刺激, 这两种条件之间的对比可直接反映颜色属性与朝向属性直接竞争时对眼动捕获的优先性。因

此,在统计过程中,匹配条件共包括 6 种匹配类型,每种类型下落在兴趣区内的首次注视点百分率如图 2 所示。

另外,实验 1 所设置的反应特征为字符("#"和"\$"),字体较小,被试需要集中注意才能予以识别;另一方面,靶子字符随机出现在视觉搜索的颜色条内,与记忆刺激匹配的搜索刺激之间没有特定的关联,因此推测在视觉搜索的早期阶段可能难以捕获注意。为了验证这一推测,实验 1 比较了控制条件下靶子字符所在刺激与干扰字符所在刺激捕获首次注视点的百分率,结果发现,两者对注意的捕获量非常接近,差异不显著(41.14% vs. 41.96%), $t(10) = 0.39, p > 0.7$ 。此结果表明靶子字符并不影响视觉搜索早期阶段注意的捕获,因此随后的统计分析中不再考虑靶子字符的位置因素。

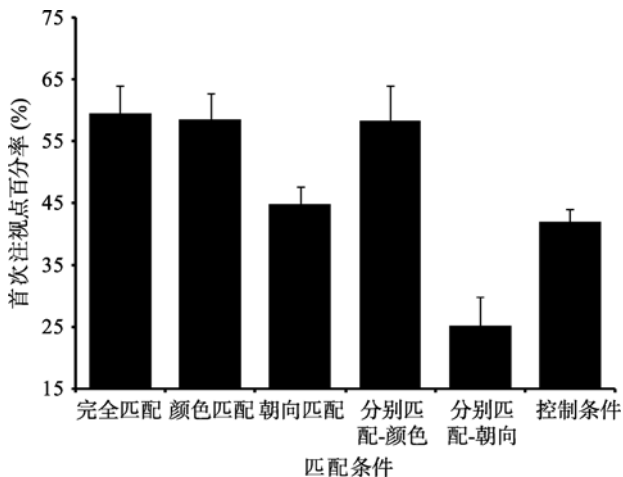


图 2 实验 1 各匹配条件下落在关键刺激兴趣区内的首次注视点平均百分率

注:所有图中误差线标识的是标准误

对落在各匹配条件下兴趣区内的首次注视点百分率进行重复测量的方差分析发现,匹配条件的主效应显著, $F(5, 50) = 15.25, p < 0.05$ 。根据实验目的进一步的比较发现,完全匹配条件(59.42%)和颜色匹配条件(58.44%)下的首次注视点百分率都显著大于控制条件(41.88%, $ps < 0.005$),都出现了显著的捕获效应,完全匹配条件与颜色匹配条件下的首次注视点百分率没有显著差异, $t(10) = 0.52, p > 0.6$,而且量值非常接近,此结果表明工作记忆表征对注意的捕获主要来自颜色属性,再一次验证了工作记忆表征的颜色属性对眼动捕获的优先性(Soto et al., 2005, 2006);朝向匹配条件与控制条件差异不显著(44.80% vs. 41.88%, $p = 0.12$),表明在实验 1 中没

有发现朝向刺激属对眼动的捕获效应。在分别匹配条件下,分别匹配-颜色刺激所捕获的首次注视点百分率显著大于分别匹配-朝向刺激(58.18% vs. 25.09%), $t(10) = 3.58, p < 0.005$ 。更重要的是,分别匹配-颜色条件与颜色匹配条件下的首次注视点百分率非常接近(58.44% vs. 58.18%), $t(10) = 0.08, p > 0.9$,这表明即使面对朝向属性的直接竞争,颜色属性对注意的引导效力也没有受到影响,进一步说明了颜色对眼动捕获的优先性,而分别匹配-朝向条件下的首次注视点百分率则显著小于朝向匹配条件(25.09% vs. 44.80%, $t(10) = 3.99, p < 0.005$)和控制条件(25.09% vs. 41.88%, $t(10) = 4.14, p < 0.005$),表明颜色优先性还导致了与之直接竞争的朝向属性捕获的首次注视点显著减少。

3 实验 2: 朝向属性为靶子属性时颜色捕获眼动的优先性

实验 1 研究结果发现,工作记忆表征的颜色属性较为容易地捕获眼动,但朝向属性则难以捕获眼动,这与 Soto 等(2006)的研究结果有些不同。在 Soto 等(2006)的研究中,设置了倾斜 4.8° 与 38° 两种不同显著性的靶子。结果发现,中性条件下高显著性靶子(38°)比低显著性靶子(4.8°)更容易被检测到,能捕获更多的首次注视点。虽然 Soto 等(2006)实验中,朝向属性是作为靶子刺激,并非直接考察工作记忆表征的朝向属性对注意的捕获效应,但由上述结果可知,随着显著性的增加,朝向属性捕获的眼动就越多。由此推测,工作记忆表征的朝向属性可能在一定条件下是可以捕获眼动的。

实验 1 中朝向属性没有出现引导效应的原因可能有以下两种:

原因一,实验 1 中采用的朝向属性显著性不够,不足以捕获注意。显然,这一原因并不成立,理由如下:(1)据研究表明朝向之间相差 1° 到 2° ,就可以辨别出差异,一般认为相差 15° 以上,视觉搜索就非常有效(Foster & Ward, 1991; Wolfe, 1994, 1998),而实验 1 中视觉搜索的左右刺激之间朝向属性的倾斜度至少相差 45° ,具有足够显著的知觉差异;(2)实验 1 中刺激的朝向属性之间的倾斜度差异比 Soto 等(2006)的研究中的高显著性靶子条件还要大,理论上应该更容易发现捕获效应,但实验结果并非如此。

原因二,在实验 1 中,刺激的朝向属性是作为任务无关属性出现的,而在 Soto 等(2006)的研究中,

朝向属性是作为靶子属性出现的。根据引导搜索理论, 该属性在视觉搜索之前会赋予其更大的权重 (Wolfe, 2007), 因而能捕获更多的注意。

因此, 实验 2 对如下问题进行验证: 当工作记忆表征的朝向属性在作为靶子属性时, 能否促进其对眼动的捕获? 实验 1 中表现出的颜色属性对眼动捕获的优先性是否依然存在?

3.1 方法

3.1.1 被试

9 名被试(年龄 19~22 岁, 平均年龄 20.78 岁)参加本实验, 所有被试无色盲, 色弱, 视力及矫正视力正常。

3.1.2 仪器与材料

实验仪器与材料与实验 1 相同。

3.1.3 程序

实验 2 的程序与实验 1 的类似, 所不同的是实验 2 中不再呈现符号作为靶子刺激, 而是事先指定的靶子属性。根据靶子类型的不同, 实验 2 分为两个区组: 区组一中, 事先指定记忆表征中的颜色属性作为随后视觉搜索的靶子属性, 即在视觉搜索任务中, 要求被试判断与记忆刺激相同颜色的刺激位置, 分别按鼠标左右键对应屏幕的左右侧位置; 区组二中, 事先指定记忆表征中的朝向属性作为随后视觉搜索的靶子属性, 要求被试以同样的标准判断与记忆刺激相同朝向的刺激位置。同实验 1, 为了防止被试只看其中一侧而对另一侧进行推测, 每部分实验中包括 20% 的 Catch 测试, 即视觉搜索中不出现靶子属性, 被试不需要反应。

工作记忆表征与搜索靶子之间有 3 种特征匹配关系: (1)完全匹配, 即工作记忆表征与其中一个搜索刺激的所有属性完全相同; (2)靶子属性匹配, 即只有工作记忆表征的靶子属性与其中一个搜索刺激相同; (3)分别匹配, 即工作记忆表征的靶子属性与其中一个搜索刺激相同, 而非靶子属性与另一个搜索刺激相同。

各区组内每种匹配类型有 48 个测试, 每个区组包括 20 个练习测试和 180 个正式测试(其中 36 个 Catch 测试)。每个被试必须完成两个区组的测试, 测试的顺序在被试间进行平衡。

3.2 结果与分析

本实验视觉搜索的正确率为 97.44%, 记忆探测的正确率为 95.89%, Catch 测试的正确率为 98.39%。

由于除 Catch 测试外, 其他测试的视觉搜索任

务中都会出现靶子属性, 因此将首次注视点落在靶子刺激兴趣区与干扰刺激兴趣区内的百分率之差作为靶子刺激对眼动的捕获效应。

对视觉搜索任务中落在关键刺激兴趣区内的首次注视点百分率(如图 3 所示)进行 2(靶子类型)×3(匹配类型)×2(注视点位置)的重复测量方差分析, 结果发现: 注视点位置的主效应显著, $F(1, 8) = 120.92, p < 0.05$; 靶子类型与注视点位置的交互作用显著, $F(1, 8) = 142.44, p < 0.05$; 匹配类型与注视点位置的交互作用显著, $F(2, 16) = 46.03, p < 0.05$; 靶子类型、匹配类型与注视点位置之间三维交互作用亦显著, $F(2, 16) = 46.08, p < 0.05$; 其他效应不显著。

根据实验目的, 对三维交互作用进行进一步的简单效应分析, 结果发现: 当靶子属性为颜色时, 所有匹配条件下都出现了显著的捕获效应(完全匹配: 70.37%, 靶子属性匹配: 70.83%, 分别匹配: 68.75%; $ps < 0.001$), 而且 3 种条件下的捕获效应量值上非常接近, 没有出现显著性差异, $F(2, 16) = 0.29, p > 0.7$, 显示出工作记忆表征的颜色属性对眼动强健的捕获效应, 而且这种效应并未受到来自于工作记忆表征的朝向属性的影响; 而当靶子属性为朝向时, 完全匹配条件与靶子匹配条件下出现了显著的捕获效应(完全匹配: 64.81%, 靶子匹配: 26.85%; $ps < 0.05$), 反映了朝向属性对眼动的捕获效应, 但靶子匹配下的捕获效应要显著小于完全匹配条件, $t(8) = 4.95, p < 0.005$, 这反映了颜色属性在朝向属性作为靶子属性时依然对眼动具有捕获效应; 更重要的是, 与完全匹配和靶子匹配条件出现的注意捕获效应不同, 分别匹配条件下出现了相反的效应(-37.27%), $t(8) = 4.06, p < 0.005$, 即干扰刺激

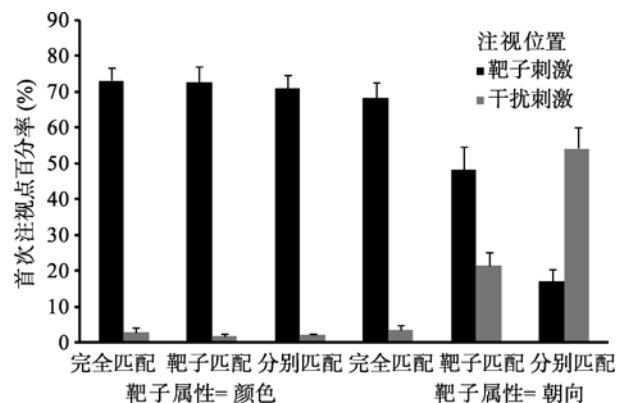


图 3 实验 2 中落在各搜索刺激上的首次注视点平均百分率

比靶子刺激捕获更多的首次注视点, 这表明即使面临作为靶子属性的朝向属性的竞争, 工作记忆表征的颜色属性依然具有捕获眼动的优先性。

4 实验 3: 排除言语编码的影响

实验 1 与实验 2 皆发现工作记忆表征的颜色属性比朝向属性对眼动捕获更具有优先性。但两个实验中使用的红、黄、蓝与绿 4 种基本的颜色相对于朝向属性来说, 更容易在记忆过程中使用言语编码。有关研究表明言语工作记忆亦能引导注意(Soto & Humphreys, 2007), 故研究者通常使用语音抑制任务来防止被试对刺激进行言语编码(Baddeley, 1986), 但采用语音抑制任务同时会增加注意负载, 从而减少工作记忆表征对注意的引导效应(Soto & Humphreys, 2008)。为了避免语音抑制任务所带来的额外注意负载, 实验 3 采用难以言语命名的颜色(如 Tan et al., 2008; Zhou et al., 2010)来减少对颜色属性的言语编码策略, 来验证实验 2 的研究结果, 以增加结果的可靠性。此外, 实验 3 还可用来考察非典型的颜色对眼动的捕获效果。

4.1 方法

4.1.1 被试

10 名被试参加本实验, 年龄 20~22 岁, 平均 20.9 岁。所有被试(矫正)视力、色觉正常。

4.1.2 仪器与材料

与实验 2 相似, 唯一不同的是将实验 2 中的颜色换为 4 种难以命名的颜色: 颜色 1 的 RGB 值为 88, 50, 50; 颜色 2 的 RGB 值为 100, 158, 167; 颜色 3 的 RGB 值为 191, 188, 143; 颜色 4 的 RGB 值为 150, 120, 180。实验 3 中采用的 4 种难命名颜色前 3 种来自于 Tan 等(2008)的实验, 最后一种为作者制定。为了确定这 4 种颜色是难命名颜色, 作者采用评定实验对其可命名性进行评定。评定实验程序如下: 将易命名颜色(红、黄、蓝、绿)及难命名颜色(实验 3 中采用的 4 种颜色)随机混合, 逐个呈现于电脑屏幕中央 3000 ms, 要求被试对颜色进行命名反应。20 名被试(男女各 10 名, 平均 20.9 岁)的数据表明: 对易命名颜色命名的正确率 100%, 平均反应时为 587 ms, 而没有被试在 3000 ms 内对难命名颜色进行命名。

4.1.3 程序

实验程序与实验 2 相同。

4.2 结果与分析

本实验视觉搜索的正确率为 98.3%, 记忆探测

的正确率为 97.2%, Catch 测试的正确率为 95.4%。

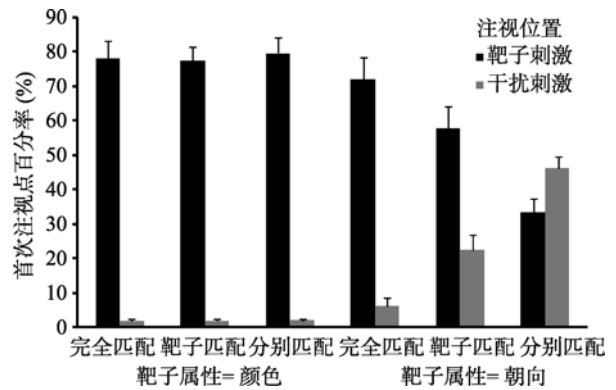


图 4 实验 3 中落在各搜索刺激上的首次注视点平均百分率

对首次注视点百分率(如图 4 所示)进行 2(靶子类型) $\times$ 3(匹配类型) $\times$ 2(注视点位置)的重复测量方差分析, 结果发现: 注视点位置的主效应显著, $F(1, 9) = 94.19, p < 0.05$; 靶子类型与注视点位置的交互作用显著, $F(1, 9) = 60.43, p < 0.05$; 匹配类型与注视点位置的交互作用显著, $F(2, 18) = 65.43, p < 0.05$; 靶子类型、匹配类型与注视点位置之间三维交互作用亦显著, $F(2, 18) = 55.48, p < 0.05$; 其他效应不显著。

根据实验目的, 对三维交互作用进行进一步的简单效应分析, 结果与实验 2 基本一致: 当靶子属性为颜色时, 所有匹配条件下都出现了显著的捕获效应(完全匹配: 76.46%, 靶子属性匹配: 75.63%, 分别匹配: 77.71%; $ps < 0.001$), 而且 3 种条件下的捕获效应没有显著差异, $F(2, 18) = 0.43, p > 0.6$; 而当靶子属性为朝向时, 完全匹配条件与靶子匹配条件下出现了显著的捕获效应(完全匹配: 65.83%, 靶子匹配: 35.21%; $ps < 0.01$), 且靶子匹配下的捕获效应要显著小于完全匹配条件, $t(9) = 5.19, p < 0.005$; 分别匹配条件下还是出现了相反的效应(-12.92%), 差异边缘显著, $t(9) = 1.94, p = 0.08$ 。

从上述结果来看, 实验 3 基本上重复了实验 2 的结果, 再次证明当工作记忆表征的朝向属性作为靶子属性时, 能促进其对眼动的捕获, 也再次证明了工作记忆表征的颜色属性对捕获眼动的优先性。

为了检验言语编码对实验 2 中注意引导效应的影响, 研究将实验 2 与实验 3 作为组间因素纳入统计分析, 2(实验类型) $\times$ 2(靶子类型) $\times$ 3(匹配类型) $\times$ 2(注视点位置)的重复测量方差分析发现实验类型的主效应不显著, $F(1, 17) = 1.70, p > 0.2$, 而

且与其他因素间的交互作用也都不显著,即没有发现言语编码对注意引导的作用。但需要注意的是,在朝向属性为靶子属性的分别匹配条件下,与实验2一样,实验3也出现了相反的效应,但效应量只是边缘显著,并且要显著低于实验2同实验条件下的效应量(12.92% vs. 37.27%), $t(17) = 2.18, p < 0.05$,进一步分别对此条件下朝向属性和颜色属性眼动捕获量进行实验间比较发现:实验3中朝向属性对眼动的捕获量显著增强(16.90% vs. 46.04%), $t(17) = 2.92, p < 0.05$,而颜色属性则有减弱的趋势(54.17% vs. 33.13%),但差异不显著, $t(17) = 1.20, p > 0.2$ 。但考虑到实验3只是将实验2中易命名的颜色替换为难命名的颜色,其他条件均未变化,因此作者推测导致上述结果的原因可能有如下两种:一种原因可能是实验3中难命名的颜色对注意的引导效力下降,并与朝向属性产生交互影响,从而导致朝向属性的注意引导效力增强;第二种原因可能是不同实验间被试的组间误差所致。至于难命名颜色是否会导致注意引导效应下降,本研究并不能做出确切结论,还有待进一步探讨。

5 总讨论

通过3个实验,分别探讨了工作记忆表征的颜色属性与朝向属性对基于工作记忆表征的眼动捕获的影响,实验1的结果发现,当两种属性都不作为视觉搜索刺激的靶子时,颜色属性表现出对眼动捕获的绝对优势,而朝向属性并不能单独捕获眼动;而在实验2与实验3中,当朝向属性作为靶子属性时,表现出一定程度的眼动捕获效应,但颜色属性即使面临作为靶子属性的朝向属性的直接竞争,依然表现出对眼动捕获的优先性。

首先,3个实验的结果一致提示:颜色属性在工作记忆表征自上而下地捕获注意过程中具有较大的优先性。这种优先性不仅表现在两者都作为无关刺激进行直接竞争的情境下,颜色属性比朝向属性更能有效地引导注意,还表现在即使朝向属性作为靶子的反应特征具有引导注意的优先权情境下,颜色属性对眼动的捕获亦能在与朝向属性的直接竞争中获得优势。这一结果与Soto等(2005, 2006)研究中所发现的工作记忆表征的颜色属性对注意捕获所具有优先性是一致的,但相对于Soto等(2005, 2006)来说,一方面本研究设置颜色属性与朝向属性直接竞争以更为直接地比较两者对眼动捕获的优势,另一方面本研究采用在视知觉中比形状属性

更具有引导效力的朝向属性(Wolfe & Horowitz, 2004)作为对照,因而更能突出颜色属性在工作记忆表征引导注意过程中所具有的优先性,也再次证实刺激属性在工作记忆表征对视觉注意自上而下的引导过程中的重要作用(Zhang, et al., 2010)。

其次,Wolfe和Horowitz(2004)认为,朝向属性与颜色属性一样,作为外部知觉表征的刺激属性时,都是能非常有效引导视觉注意的“绝对属性”,但当朝向属性作为内部工作记忆表征的刺激属性时,是否依然能非常有效地引导注意呢?本研究实验2与实验3中,当朝向属性作为视觉搜索的靶子反应特征时,虽然对眼动的捕获显著小于与颜色属性结合呈现时的引导效力,但当朝向属性在没有颜色属性的竞争单独呈现时亦表现出对注意的引导效应(实验2: 26.85%; 实验3: 35.21%)。而在本研究实验1中,当朝向属性只作为与靶子无关的属性时,并未发现其对眼动的捕获效应。这表明工作记忆表征的朝向属性可能捕获眼动,但须具备一定的条件,例如与任务的相关性。Soto等(2006)的研究数据发现,当朝向属性作为视觉搜索的靶子反应特征时,高显著性的靶子比低显著性的靶子能捕获更多的首次注视点,这亦提示工作记忆的朝向属性能对捕获眼动。需要注意的是,当朝向属性作为靶子反应特征时,靶子本身对注意引导具有更多的优先权,此时朝向属性对注意的引导效应很难归因于朝向属性本身单独对注意的引导,或是靶子本身对注意的引导,或是两者交互作用对注意的引导。因此,本研究尚不能对工作记忆表征的朝向属性能引导视觉注意这一假设做出肯定的结论。

虽然Wolfe和Horowitz(2004)认为朝向属性与颜色属性同属能非常有效地引导注意的“绝对属性”,但并未说明两种属性是否具有相同的引导效力。近年来一些证据表明颜色属性比朝向属性更能有效地引导注意,例如Moutoussis和Zeki(1997)、Zeki和Bartels(1998)研究发现颜色属性比朝向属性更容易被知觉,对前者知觉比后者快约63 ms左右。Anderson, Heinke和Humphreys(2010)直接对比了颜色属性与朝向属性在复合刺激的视觉搜索过程中对注意的引导,在实验中,先给被试呈现一个线索用来提示靶子的特征,然后再要求被试完成一个视觉搜索任务,视觉搜索刺激由颜色与朝向组合而成,结果发现,预先呈现的颜色线索比朝向线索更能促进视觉搜索效率。他们认为这是因为颜色线索能更有效地促进视觉搜索刺激依据颜色属性

进行分类,从而促进被试对靶子的搜索。Zhuang 和 Papathomas (2011)也发现颜色属性比朝向属性更能快速地分类视觉搜索刺激从而促进视觉搜索效率。根据维度权重理论(dimension-weighting account; Krummenacher, Müller, & Heller, 2001, 2002; Müller, Heller, & Ziegler, 1995),在视觉加工过程中,注意对组成视觉刺激各维度赋予的权重是不同的,维度权重值的获得既受到自上而下的注意的影响,例如与目标相关的维度会赋予更大的权重,又受到自下而上的注意的影响,例如知觉情境中显著性高的刺激维度容易获得较高的权重。刺激的不同维度所能获得的权重不同(Krummenacher et al., 2001, 2002; Müller et al., 1995),显著性高的维度(例如颜色)比其他维度可能获得更大的权重(例如形状, Theeuwes, 1991, 1992),且在某些情境中,高显著性维度对注意自下而上的捕获更具优势,会减弱甚至消除自上而下的注意的影响(例如 Wang, Yu, & Zhou, 2013; Wei & Zhou, 2006)。因此在本研究中,如前所述,颜色知觉比朝向知觉具有更高的显著性(Anderson et al., 2010; Bartels & Zeki, 1998; Moutoussis, & Zeki, 1997; Zhuang & Papathomas, 2011),故颜色属性(维度)比朝向属性(维度)容易获得更大的权重。另外,根据偏向竞争理论,工作记忆表征在前额叶中的激活会通过自上至下的通道增强初级视觉皮层中与工作记忆表征相同或相似刺激的表征,使该表征获得竞争优势,从而引导注意偏向视觉搜索与之匹配的刺激(Desimone, 1998; Desimone & Duncan, 1995)。研究者认为无关工作记忆表征对视觉注意的引导亦是通过这条自上而下的回馈通道起作用的(Soto et al., 2005, 2006),也就是说无关工作记忆表征的激活状态会使与视觉搜索刺激的之匹配的特征值获得更大的权重,从而引导注意偏向该视觉搜索刺激。由此可以推论,在工作记忆表征引导注意的过程中,颜色维度的显著性首先通过自下而上的方式使颜色获得更大的权重使之成为主要参照标准对视觉搜索刺激进行分类,然后工作记忆表征的激活会通过自上而下的方式使之与颜色特征值匹配的搜索刺激获得更大的权重而被选择,两者共同作用导致工作记忆表征的颜色属性会比朝向属性具有更大的捕获眼动的优先性。

此外,本研究的结果可以从另一个角度来解释 Soto 等(2005, 2006)的研究结果,即工作记忆表征对注意的引导或取决于刺激属性对视觉注意引导

效力的相对性。在他们的研究中,视觉搜索刺激由颜色与形状两种属性组成,而视觉搜索靶子是向左或向右倾斜的线段,即朝向属性。颜色属性比作为靶子属性的朝向属性具有更强的注意引导效力,因而能表现出较为稳定的注意引导效应,而形状属性对注意的引导效力则弱于朝向属性,因而只有与工作记忆形状属性匹配的干扰刺激出现时,注意更容易被作为靶子属性的朝向属性捕获,因而没有发现引导效应。当然这一新的解释尚需进一步验证,但作者另一项研究结果是支持这一解释的。

但需要指出的是,本研究中当朝向属性作为内部工作记忆表征的刺激属性时,并没有像作为外部知觉表征的刺激属性一样具有“绝对”的引导效力,这也进一步提示内部工作记忆表征与外部知觉表征的刺激属性在引导注意时的差异,内部工作记忆表征的刺激属性对注意引导的效力及各刺激属性之间引导的优先性可能并不能与外部知觉表征的刺激属性完全对应,可能反映了两种不同的机制,前者涉及到自上而下的调节,而后者更多的是反映自下而上的刺激驱动加工过程。

6 总结

综上所述,本研究结果表明工作记忆表征的颜色属性对视觉注意自上而下的引导中具有较强的效力,且其对注意的捕获能力明显优先于其他刺激属性(如朝向属性、形状属性)。

参 考 文 献

- Anderson, G. M., Heinke, D., & Humphreys, G. W. (2010). Featural guidance in conjunction search: The contrast between orientation and color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1108–1127.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon.
- Bai, X. J., Yin, S. S., Yang, H. B., Lü, Y., Hu, W., & Luo, Y. J. (2011). The influence of visual working memory contents on top-down attentional control: An ERP study. *Acta Psychologica Sinica*, 43(10), 1103–1113.
- [白学军, 尹莎莎, 杨海波, 吕勇, 胡伟, 罗跃嘉. (2011). 视觉工作记忆内容对自上而下注意控制的影响: 一项 ERP 研究. *心理学报*, 43(10), 1103–1113.]
- Bartels, A., & Zeki, S. (1998). The theory of multistage integration in the visual brain. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 265(1412), 2327–2332.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353(1373), 1245–1255.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*,

- 18, 193–222.
- Downing, P. E., & Dodds, C. M. (2004). Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition*, 11(6), 689–703.
- Foster, D. H., & Ward, P. A. (1991). Asymmetries in oriented-line detection indicate two orthogonal filters in early vision. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 243(1306), 75–81.
- Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2006). The effect of items in working memory on the deployment of attention and the eyes during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(2), 423–442.
- Hu, Y. M., Zhang, M., Xu, Z., & Li, B. Q. (2013). Guidance of working memory on attention: The effects of inhibition incentive. *Acta Psychologica Sinica*, 45(2), 127–138.
- [胡艳梅, 张明, 徐展, 李毕琴. (2013). 客体工作记忆对注意的导向作用: 抑制动机的影响. *心理学报*, 45(2), 127–138.]
- Johnston, W. A., Hawley, K. J., Plewe, S. H., Elliott, J. M. G., & DeWitt, M. J. (1990). Attention capture by novel stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(4), 397–411.
- Krummenacher, J., Müller, H. J., & Heller, D. (2001). Visual search for dimensionally redundant pop-out targets: Evidence for parallel-coactive processing of dimensions. *Perception & Psychophysics*, 63(5), 901–917.
- Krummenacher, J., Müller, H. J., & Heller, D. (2002). Visual search for dimensionally redundant pop-out targets: Parallel-coactive processing of dimensions is location specific. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(6), 1303–1322.
- Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience*, 30, 307–317.
- Mannan, S. K., Kennard, C., Potter, D., Pan, Y., & Soto, D. (2010). Early oculomotor capture by new onsets driven by the contents of working memory. *Vision Research*, 50(16), 1590–1597.
- Moutoussis, K., & Zeki, S. (1997). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 264(1380), 393–399.
- Müller, H. J., Heller, D., & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Perception & Psychophysics*, 57(1), 1–17.
- Olivers, C. N. L., Meijer, F., & Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: Visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(5), 1243–1265.
- Olivers, C. N. L., Peters, J., Houtkamp, R., & Roelfsema, P. R. (2011). Different states in visual working memory: When it guides attention and when it does not. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(7), 327–334.
- Pan, Y. (2010). Attentional capture by working memory contents. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 64(2), 124–128.
- Pan, Y. (2010a). Content-based working memory-driven visual attention. *Advances in Psychological Science*, 18(2), 210–219.
- [潘毅. (2010a). 基于工作记忆内容的视觉注意. *心理科学进展*, 18(2), 210–219.]
- Pan, Y. (2010b). Effects of verbal memory on visual selection: dimension-based automatic guidance of attention. *Acta Psychologica Sinica*, 42(12), 1118–1127.
- [潘毅. (2010b). 言语记忆对视觉选择的影响: 基于维度的自动注意引导. *心理学报*, 42(12), 1118–1127.]
- Pan, Y., & Soto, D. (2010). The modulation of perceptual selection by working memory is dependent on the focus of spatial attention. *Vision Research*, 50(15), 1437–1444.
- Pan, Y., Xu, B. H., & Soto, D. (2009). Dimension-based working memory-driven capture of visual selection. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(6), 1123–1131.
- Peters, J. C., Goebel, R., & Roelfsema, P. R. (2009). Remembered but unused: The accessory items in working memory that do not guide attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(6), 1081–1091.
- Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., & Blanco, M. J. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(2), 248–261.
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(9), 342–348.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2007). Automatic guidance of visual attention from verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 730–737.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2008). Stressing the mind: The effect of cognitive load and articulatory suppression on attentional guidance from working memory. *Perception & Psychophysics*, 70(5), 924–934.
- Soto, D., Humphreys, G. W., & Heinke, D. (2006). Working memory can guide pop-out search. *Vision Research*, 46(6–7), 1010–1018.
- Tan, L. H., Chan, A. H. D., Kay, P., Khong, P. L., Yip, L. K. C., & Luke, K. K. (2008). Language affects patterns of brain activation associated with perceptual decision. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(10), 4004–4009.
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 184–193.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51(6), 599–606.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
- Wang, L. H., Yu, H. B., & Zhou, X. L. (2013). Interaction between value and perceptual salience in value-driven attentional capture. *Journal of Vision*, 13(3), 1–13.
- Wei, P., & Zhou, X. L. (2006). Processing multidimensional objects under different perceptual loads: The priority of bottom-up perceptual saliency. *Brain Research*, 1114(1), 113–124.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202–238.
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search. In H. Pashler (Ed.), *Attention*. London, UK: University College London Press.
- Wolfe, J. M. (2007). Guided Search 4.0: Current progress with a model of visual search. In W. D. Gray (Ed.), *Integrated models of cognitive systems* (pp. 99–119). New York: Oxford.
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it?

- Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 495–501.
- Zhang, B., Huang, S., & Qi, L. (2013). Working memory representation does guide visual attention: evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica*, 45(2), 139–148.
- [张豹, 黄赛, 祁禄. (2013). 工作记忆表征引导视觉注意选择的眼动研究. *心理学报*, 45(2), 139–148.]
- Zhang, B., Zhang, J. X., Kong, L. Y., Huang, S., Yue, Z. Z., & Wang, S. P. (2010). Guidance of visual attention from working memory contents depends on stimulus attributes. *Neuroscience Letters*, 486(3), 202–206.
- Zhou, K., Mo, L., Kay, P., Kwok, V. P. Y., Ip, T. N. M., & Tan, L. H. (2010). Newly trained lexical categories produce lateralized categorical perception of color. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(22), 9974–9978.
- Zhuang, X. H., & Papathomas, T. V. (2011). Cue relevance effects in conjunctive visual search: Cueing for location, color, and orientation. *Journal of Vision*, 11(7), article 6.

The Priority of Color in Working-Memory-Driven Ocular Capture

ZHANG Bao¹; Huang Sai²; HOU Qiuxia³

(¹ School of Education / The Center for Mind and Brain, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

(² School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

(³ School of Education Science, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

Abstract

The target template maintaining in working memory can guide attention bias to target-like items in the visual scene facilitating the visual search. In addition to the target template, representations in working memory that are irrelevant to the search target have also been shown to guide attention in a top-down way. During visual search, the distractor sharing attributes with the online working memory representations capture more attention than other distractors, displaying a robust memory-driven attentional capture effect. However, not all stimulus attributes of the working memory representations are equal effective in capturing attention, previous studies showed that the color attribute of a memory-matched distractor was more effective in capturing the first fixation than the shape attribute. According to the opinion of Wolfe and Horowitz (2004), the color attribute was one of the “undoubted guiding attributes” that had greater efficiency for attention guidance than the shape attribute. So it is unclear yet whether color still has such priority when directly competing against the orientation attribute that is also one of the “undoubted guiding attributes”. Three experiments using the classic dual task paradigm were reported here to address this issue.

In Experiment 1, participants were asked to search for a specific target accompanied with a distractor which was always located in the opposite visual field of the target. The target and the distractor were respectively embedded in the bar with color and/or orientation attributes same to or different from the objects held in the working memory. The results suggested that the bar would capture more first fixations (i.e. ocular capture effect) only when it shared color attribute with the memory items than when it did not, most importantly, the color-matched bar still captured more first fixations than the orientation-matched bar while they simultaneously appeared and directly competed for attention.

In Experiment 2 and 3, participants were required to search either color or orientation of the remembered object. The results showed that in the color search task, ocular capture occurred when the color attributes of the target matched the remembered object regardless of the orientation attribute. However, in the orientation search task, ocular capture still occurred when the distractor was of the same color as the remembered object and slowed down search. These asymmetric results again demonstrated the priority of color attribute in the working memory representation.

In conclusion, these results indicate that attentional priority could modulate attentional guidance from working memory, and the color attribute is of greater attentional priority for ocular capture than orientation.

Key words working memory representation; attentional guidance; ocular capture; priority of color attribute