

工作记忆表征对视觉注意的引导机制*

张 豹¹ 黄 赛²

(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)

摘 要 人类有限的信息加工系统只允许注意从外界环境中选择少量的信息进行深加工, 在注意选择过程中工作记忆表征会以自上而下的方式引导注意优先选择视觉情境中与之相同或相似的刺激。本文系统综述了有关工作记忆表征对视觉注意的引导作用的研究文献, 并对注意引导效应是否是自动化过程, 言语工作记忆表征能否引导注意及注意引导效应是否总是存在这三个争议问题进行了论述, 发现工作表征能自上而下地引导注意, 但存在诸多制约条件。

关键词 工作记忆; 视觉注意; 注意引导

分类号 B842

1 引言

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能选择少量刺激进行进一步加工, 这就需要一种有效的机制从复杂的视觉环境中快速找到相关刺激, 以优化靶子的选择。Wolfe (2007)认为这种机制为注意引导(Attentional Guidance)。目前流行的注意的引导搜索理论(Wolfe, 2007)和偏向竞争理论(Desimone, 1998; Desimone & Duncan, 1995)都认为, 引导注意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对注意的捕获(Johnston, Hawley, Plewe, Elliott, & DeWitt, 1990); 第二种方式为自上而下的记忆驱动方式, 例如视觉工作记忆表征引导注意偏向到与之相同或相似的视觉刺激(Chelazzi, Miller, Duncan, & Desimone, 1993)。

近年来研究者发现, 不但工作记忆中的靶子模板能引导注意快速选择靶子刺激, 而且工作记忆中与当前任务无关的记忆表征亦能引导注意选择。例如 Soto 等人在其系列的研究中(Kumar, Soto,

& Humphreys, 2009; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; Soto & Humphreys, 2007, 2008, 2009; Soto, Humphreys, & Heinke, 2006; Soto, Humphreys, & Rotshtein, 2007), 首先要求被试记住一个彩色几何图形(如红色正方形), 然后在记忆保持过程中完成一个视觉搜索任务。视觉搜索刺激与工作记忆表征之间有 3 种特征匹配关系: 有效匹配条件——工作记忆表征与视觉搜索靶子的特征匹配、无效匹配条件——工作记忆表征与视觉搜索中的干扰刺激特征匹配、和中性条件——工作记忆表征与视觉搜索刺激没有任何特征上的重合。结果发现: 视觉搜索在有效匹配条件下最快, 其次是中性条件, 无效匹配条件最慢, 表明工作记忆表征会引导视觉注意偏向到视觉情境中与之匹配的刺激。同时, 眼动结果也发现, 相对于中性条件, 有效匹配条件与无效匹配条件下, 与工作记忆表征匹配的搜索刺激都能捕获更多首次注视点, 表明工作记忆表征对视觉注意的引导效应似乎是发生在视觉注意的早期阶段的自动化的过程(Soto et al., 2005, 2006)。

工作记忆表征对注意自上而下的引导方式日益受到国内外研究者的关注, 例如张明和张阳(2007)、潘毅(2010)在其综述中对此问题进行了论述。在此基础上, 本文结合最新研究进展, 拟对基于工作记忆表征的注意引导方式存在争议的几个

收稿日期: 2012-09-18

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

通讯作者: 张豹, E-mail: bao.zhang@139.com

问题进行深入论述。

2 工作记忆表征对注意的引导是否是自动化过程?

一系列研究发现,基于工作记忆表征的注意引导广泛地存在于多种实验情境,例如可以发生在视觉搜索的早期阶段(Soto et al., 2005, 2006)、较为自动化的 Pop out 搜索之中(Soto et al., 2006)、工作记忆表征只与干扰刺激匹配条件下(Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006; Soto et al., 2006),或较大的注意负荷情境下(Soto & Humphreys, 2008),由此 Soto 等认为引导效应是一个自动化的过程(Soto et al., 2008)。

根据 Hasher 等对自动化加工的界定(Hasher & Zacks, 1979),自动化加工至少符合两个标准:(1)意向性标准:即自动化加工不受主观意向的自主控制;(2)负载不敏感标准:即自动化加工不受资源负载的影响。

下面分别从意向性标准与负载不敏感标准来论述工作记忆表征对注意的引导方式是否是自动化过程。

Pan 和 Soto (2010)考察了注意聚焦状态对基于工作记忆表征的注意引导的影响。他们在实验中通过提前呈现线索预示靶子所在位置,以让被试形成主观意向,将注意提前聚焦于靶子位置。结果发现当线索能百分之百提示靶子所在位置时,与工作记忆表征相同的干扰刺激并不能捕获注意。此结果表明注意引导效应受到了主观意向的调节,并非完全自动化的过程。另外,Carlisle 和 Woodman (2011a, 2011b, 2012)、Han 和 Kim (2009)都发现,工作记忆表征对注意的引导会受到认知控制或策略因素的影响,这些结果进一步支持了主观意向对注意引导效应的调节功能。

Zhang 等(2011)考察了工作记忆负载对基于工作记忆表征的注意引导的影响,结果发现,当工作记忆负载为一个或两个项目时,出现了比较大的注意引导效应,而当将工作记忆负载增加到4个项目,接近工作记忆最大容量时,注意引导效应消失了。另外,Han 和 Kim (2009)通过改变搜索目标与干扰刺激之间的相似性来操纵知觉负载的水平,结果发现:在低知觉负载条件下,与工作记忆匹配的干扰刺激能够自动获得注意偏向,但是在高知觉负载条件下该引导效应消失了。这些

结果说明,基于工作表征的注意引导既受早期阶段知觉负载的调节,又受晚期阶段工作记忆负载的调节,从而从负载不敏感标准的角度进一步否定了工作记忆表征对视觉注意的引导的完全自动化观点。

虽然众多研究表明基于工作记忆表征的注意引导过程并非完全自动化方式起作用,但这一注意引导方式仍然是自动化程度较高的过程(潘毅, 2010)。

3 言语工作记忆能否引导注意?

目前有关工作表征对视觉注意引导的研究中,工作记忆表征大都属于视觉工作记忆范畴,通常采用两种方式来控制对视觉刺激的言语编码:一种方式为采用难以言语编码的视觉图形(如 Downing, 2000; Olivers et al., 2006);另一种方式为采用言语抑制任务来抑制对视觉图形的言语编码(如 Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Woodman & Luck, 2007)。但在 Soto 等的系列研究中,通常采用简单的彩色几何图形作为记忆图形(Soto et al., 2005, 2006),被试可能会对这些视觉刺激进行言语编码,从而无法得知引导视觉注意的工作记忆表征到底是视觉工作记忆还是言语工作记忆。于是存在一个疑问,言语工作记忆在引导视觉注意的过程中是否起作用?在 Olivers 等(2006)的一项研究中,当采用容易言语编码的颜色刺激作为记忆材料时,没有发现任何引导效应,而采用更为视觉化的记忆材料时,出现了显著的引导效应,此结果表明相对于视觉工作记忆表征,言语工作记忆表征难以引导注意。但 Soto 和 Humphreys (2007)要求被试用词汇对彩色几何图形进行描述(如说出“红色正方形”),结果发现,当干扰刺激具有记忆词汇所描述的特征时,搜索反应明显变慢,出现了引导效应。Soto 和 Humphreys (2007)由此认为言语工作记忆与视觉工作记忆一样都能够自动引导视觉注意。显然,两者结果并不一致,其原因可能是两者设置的记忆刺激到视觉搜索之间的时间间隔不同,Olivers 等(2006)的实验中时间间隔高达 3000 ms,而 Soto 和 Humphreys (2007)的研究中却只有 188ms。Dombrowe, Olivers 和 Donk (2010)对这一解释进行了验证,他们在实验中分别考察了基于言语工作记忆与基于视觉工作记忆的引导效应的

时间进程,结果发现基于言语工作记忆的引导效应只能在较短的时间进程(1000 ms 左右)内存在,而随着时间的延长,引导效应逐渐衰退;而基于视觉工作记忆的引导效应则比较稳定,在长达4000 ms 的时间进程上仍然非常稳定,这说明言语工作记忆表征在特定的时间内还是可以引导视觉注意的。

4 工作记忆表征是否总能引导注意?

工作记忆表征对注意的引导亦受到了一些研究者的质疑,这些质疑主要来自两个方面:

首先是对基于工作记忆表征的注意引导方式的质疑。部分研究者认为工作记忆表征并不总是能引导注意偏向到与之匹配的刺激,而是以一种灵活的方式促进视觉搜索(Woodman & Luck, 2007)。例如 Woodman 和 Luck (2007)实验发现,当工作记忆表征只与干扰刺激匹配时,注意不但不会被该干扰刺激捕获,反而会拒绝它;而当工作记忆表征有可能与搜索靶子匹配时,注意就会偏向该匹配刺激,因而当该刺激为靶子时,会促进视觉搜索效率,而当该刺激为干扰刺激时,则会损害视觉搜索效率。由此 Woodman 和 Luck (2007)认为,在视觉搜索过程中被试会主动地采用策略进行搜索:(1)当工作记忆表征不可能作为搜索靶子时,注意以拒绝的模板的形式偏离与之匹配的干扰刺激,从而提高搜索效率。(2)当工作记忆表征可能与搜索靶子匹配时,注意就会以选择模板的形式偏向与之匹配的项目。这一结果与 Soto 等系列研究的结果不一致(Soto et al., 2005, 2006, 2007)。

研究者从各角度分析了造成上述结果差异的原因。例如 Soto 和 Humphrey (2008)认为 Woodman 和 Luck (2007)的实验中使用言语抑制任务可能会以占用工作记忆表征引导注意所需要的资源的方式,或以削弱来自于言语工作记忆对注意的引导的方式,来减少工作记忆表征对视觉注意的引导。还有些研究者则认为两者的差异是因为 Woodman 和 Luck (2007)研究中视觉搜索任务中有执行控制或策略的参与(Carlisle & Woodman, 2011a, 2011b, 2012; Han & Kim, 2009; 张豹, 金志成, 陈彩琦, 2008)。遗憾的是,目前尚未有研究能重复出 Woodman 和 Luck (2007)研究结果,即当工作记忆表征只与干扰刺激匹配时,视觉搜索

过程中注意会偏离与工作记忆表征匹配的干扰刺激,故这些因素并不能完全解释 Soto 等与 Woodman 和 Luck (2007)研究结果的差异。但最近 Sawaki 和 Luck (2011)一项研究发现,视觉搜索过程中注意会被工作记忆表征匹配的干扰刺激捕获,但紧接着会对其进行积极地抑制,这可能是导致 Woodman 和 Luck (2007)研究中出现注意拒绝效应的原因。在 Woodman 和 Luck (2007)的研究中,当视觉搜索中只包含一个与记忆匹配的干扰刺激时,并未发现显著的注意拒绝效应,但当该类干扰刺激数量增加时(实验 4),抑制效应会使注意迅速从该类刺激上解脱,以加速视觉搜索,从而导致注意拒绝效应。

其次是对基于工作记忆表征的注意引导是否存在的质疑,一些研究者认为工作记忆表征并不能引导注意(Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Peters, Goebel, & Roelfsema, 2009)。例如 Peters 等(2009)采用 ERP 技术对基于工作记忆表征的注意引导效应进行了考察。在他们的实验中,首先要求被试在工作记忆中保持两个项目,然后出现一个线索(1 或 2)用以指定其中一个作为随后视觉搜索任务的靶子(Search Target, ST),另一个继续保持在工作记忆作为记忆项目(Memory Item, MI)。视觉搜索任务为序列呈现的4个项目组成,包括3种类型,一种类型为搜索刺激中包括一个 ST,第二种类型为搜索刺激中包括一个 MI,第三种类型为搜索刺激全是干扰刺激,既不包括 ST,也不包括 MI,但其中有一个干扰刺激(Distractor, DI)出现的位置与前两种类型匹配,用于随后的统计分析。结果发现,ST 会比 MI 和 DI 引发一个再大的波,而 MI 与 DI 引发的波形并没有明显的差异。该结果表明贮存在工作记忆中的非靶子项目(MI)不会引导注意选择。这一研究结果得到了之前 Downing 等(2004)的行为结果及 Houtkamp 和 Roelfsema (2006)的眼动结果的支持。

对于没有发现引导效应的原因的探讨,是当前相关领域研究的焦点之一,目前主要有以下几种解释:

一种解释为视觉搜索类型说(Peters et al., 2009)或工作记忆状态说(Olivers, Peters, Houtkamp, & Roelfsema, 2011)。这种解释认为,在观察到引导效应的实验中(如 Soto et al., 2005, 2006),所用的视觉搜索任务的靶子都是事先给定

的, 且在整个实验中保持恒定。此类靶子的模板不需要存储在工作记忆中, 不参与工作记忆资源的竞争(Carlisle, Arita, Pardo, & Woodman, 2011; Woodman, Luck, & Schall, 2007), 因此工作记忆中的刺激处于注意焦点状态, 有足够的剩余资源来构建一个强健而充分激活的记忆表征(Olivers, 2009)。一旦视觉搜索中出现与该记忆表征匹配的刺激时, 该刺激就很容易捕获注意。而在没有观察到引导效应的实验中(如 Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Peters et al., 2009), 采用的视觉搜索任务的靶子随测试不断随机变化, 此类靶子的模板必需保持在工作记忆中(Carlisle et al., 2011; Woodman & Arita, 2011; Woodman et al., 2007), 且处于优先状态, 因而会阻断其他无关工作记忆表征对注意的引导(Peters et al., 2009)。

上述解释得到了 Olivers (2009)实验证据的支持。Olivers (2009)比较了以往研究中实验条件的差异, 找出导致这些不一致研究结果的可能因素, 对这些因素进行系统验证后证实了视觉搜索类型就是决定能否观察到注意引导效应的关键因素。但最近张豹等人分析发现(张豹, 黄赛, 祁禄, 2013), 在 Olivers (2009)的关键实验中存在一些混淆变量的干扰, 例如两种视觉搜索任务的知觉负载、以及工作记忆负载并不相等。他们在控制这些因素之后, 结果发现, 不管视觉搜索任务的靶子是否变化, 在早期的眼动指标上都发现了显著的注意引导效应, 且注意引导效应在两种视觉搜索任务下没有出现差异。这一结果否定了视觉搜索类型对注意引导效应的决定性影响。

另一种解释为认知控制说。如前所述, 一些研究者认为, 工作记忆表征对视觉注意自上而下的引导会受到认知控制的影响, 被试在实验过程中会根据任务的要求灵活地采用策略对注意定向进行调节, 以偏向、忽略或拒绝的方式灵活地促进视觉搜索效率(Carlisle & Woodman, 2011a, 2011b, 2012; Han & Kim, 2009)。但张豹等(2013)研究发现, 在早期的眼动指标上出现的显著的注意引导效应, 在晚期的行为反应时指标上去消失了。他们认为, 工作记忆表征在视觉搜索的早期阶段确实能引导注意, 但由于随后视觉搜索过程中认知控制因素的影响, 从而掩盖了早期的注意引导效应。这一观点得到张豹等人另一项研究的

证实¹。他们采用眼动追踪技术发现, 在视觉搜索启动时, 与工作记忆表征匹配的项目会捕获更多的首次注视点, 但随后的抑制机制会使注意拒绝这一项目, 以提高视觉搜索效应, 因而在后期的反应时指标上难以观察到注意引导效应。这些研究都证实了认知控制对注意引导效应的影响, 但可能主要在视觉注意的后期阶段起作用。工作记忆表征对视觉注意早期阶段的引导是否稳健地存在, 还尚待证实。

第三种解释为刺激属性说(Zhang et al., 2010)。这种解释认为, 与外部知觉表征一样, 内部记忆表征是否包含可引导注意的属性也可能是产生工作记忆引导效应的关键变量。根据 Wolfe 和 Horowitz (2004)对大量视知觉研究成果进行总结发现: 不同刺激属性对引导注意的效力是不一样的, 有些属性(如颜色、朝向)对注意的引导效力较强, 而另一些属性(如形状)对注意的引导效力较差。在 Peters 等(2009)及 Downing 和 Dodds (2004)等没有观察到引导效应的实验中, 所用的实验材料均为非自然的复杂图形, 与 Soto 等(2005, 2006)所用的彩色几何图形材料相比, 这类刺激缺乏可引导注意的有效的属性(Wolfe & Horowitz, 2004), 这可能是他们的实验中没有发现引导效应的主要原因。Zhang 等(2010)对这一观点进行了验证, 实验结果发现: 即使采用 Soto 等(2005, 2006)研究完全相同的实验范式与刺激材料, 但当将刺激材料替换为 Peters 等(2009)所用的刺激材料时, 引导效应消失了; 而当采用 Peters 等(2009)相同的实验范式和 ERP 技术, 但将刺激材料替换为 Soto 等(2005, 2006)所用的彩色图形时, 发现处于消极激活状态的工作记忆表征依然能引导注意。这表明, 与外部的知觉表征类似(Wolfe & Horowitz, 2004), 内部工作记忆表征的刺激属性对引导注意起重要的作用。另外, Soto 等(2005, 2006)研究发现工作记忆表征对注意的引导效应主要来自于颜色属性, 亦可作为这一解释的有力佐证。

5 结语

综上所述, 工作记忆表征对视觉注意自上而

¹ 张豹. 工作记忆表征引导注意选择中的抑制机制研究. 未发表

下的引导问题是近年来广被研究者关注的热点之一,对该问题的研究有助于从一个新的角度来理解注意与工作记忆之间的复杂关系,尤其为工作记忆对注意的影响提供了新的视角。这一领域的研究已积累了大量的成果,也已取得了较为一致结论,即工作记忆表征能自上而下地引导注意偏向到视觉情境中与之相同或相似的刺激。与此自上而下的注意引导相关的两个理论模型分别是 Wolfe 等(2007)所提出的引导搜索理论(Guide Search, 又称 GS 理论)和 Desimone (1998), Desimone 和 Duncan (1995)提出选择性注意的偏向竞争假说。GS 理论认为:早期视觉加工阶段的信息会以激活地图(activation map)的形式引导注意进行随后阶段的加工,以完成客体识别。激活地图既可以通过自下而上的刺激驱动(stimulus-driven)方式引导注意,例如无预期的突显(Pop out)特征会自动地引导注意定向到其所在的位置;也可以通过自上而下的用户驱动(observer-driven)方式引导注意,例如确定当前刺激与靶子模板之间的相似程度。而激活地图对注意的引导取决于自下而上与自上而下两种引导方式各自权重之和。选择性注意的偏向竞争假说是由 Desimone (1998), Desimone 和 Duncan (1995)基于大量认知神经证据所提出的。该理论认为,视野中往往存在大量的刺激,而注意的资源是有限的,刺激之间以相互抑制的方式进行竞争以获得注意,受外在或内在因素的影响,竞争最终偏向于一些刺激,“获胜者”将获得进一步的加工和反应。其中内在因素包括从前额到初级视觉皮层的自上而下的反馈机制,即工作记忆表征在前额叶中维持激活,这些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。虽然两个理论都强调工作记忆对注意自上而下的引导(增强),但两者所强调的工作记忆在注意选择中的作用都是关于工作记忆中的靶子模板如何与视觉情境中的刺激匹配的过程,只是 GS 理论更多地基于认知过程,而竞争偏向理论更多地偏向大脑的神经通路。而本文所论述的工作记忆表征对视觉注意自上而下的引导过程中的工作记忆表征更多地是指工作记忆中非靶子项目的记忆表征,此记忆表征相对于靶子模板对视觉搜索的作用来说,属于

与视觉搜索任务无关的记忆表征。另一方面,本文所关注的工作记忆表征与视觉搜索刺激之间的匹配亦非与搜索靶子的匹配,而是与干扰刺激的匹配,该匹配过程会损害视觉搜索效率。即便如此,与靶子模板无关的工作记忆表征依然会捕获与之匹配的干扰刺激。与以往理论强调的自上而下的注意选择不同的是,无关工作记忆表征对视觉注意自上而下的引导较少受到注意控制的影响,是较为自动化的过程(Soto et al., 2005, 2006, 2008; 潘毅, 2010),同时也会受到自下而上的物理刺激属性的决定性影响(Zhang et al., 2010; 张豹, 黄赛, 2012)。这种引导过程可能是人长期进化适应自然的结果,反映了人类的注意选择会受到处于意识中心的内容的控制,即使这一意识内容与当前行为无关。此外,这一领域的研究拓展了注意的 GS 理论与竞争偏向理论关于工作记忆自上而下引导注意的内涵,将之前两者所强调的与视觉搜索任务高度相关的靶子模板对注意的引导扩大到工作记忆其他无关记忆表征对视觉搜索中注意的引导。

但如前所述,工作记忆表征并非总是能自上而下的引导视觉注意,而是会受到一些条件的制约,对这些制约条件的研究有助于深入探究工作记忆对注意引导的内在认知机制以及深化有关注意引导理论。另外,目前的研究成果主要来自于认知行为技术,只有少量研究采用眼动、ERP、fMRI 或脑损伤技术,而且并不系统,今后研究可采用脑成像技术对该问题所涉及的认知神经机制进行探讨。

参考文献

- 潘毅. (2010). 基于工作记忆内容的视觉注意. *心理科学进展*, 18(2), 210-219.
- 张豹, 黄赛. (2012). 刺激属性在基于工作记忆表征的视觉注意中的作用. *广州大学学报(自然科学版)*, 11(5), 82-87.
- 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.
- 张豹, 金志成, 陈彩琦. (2008). 视觉工作记忆对前注意阶段注意定向的调节. *心理学报*, 40(5), 552-561.
- 张明, 张阳. (2007). 工作记忆与选择性注意的交互关系. *心理科学进展*, 15(1), 8-15.
- Carlisle, N. B., Arita, J. T., Pardo, D., & Woodman, G. F. (2011). Attentional templates in visual working memory. *Journal of Neuroscience*, 31(25), 9315-9322.

- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011a). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, 137(2), 217–225.
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011b). When memory is not enough: Electrophysiological evidence for goal-dependent use of working memory representations in guiding visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(10), 2650–2664.
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2012). The guidance of attention is dominated by task relevance and not simply maintenance in working memory [abstract]. *Journal of Vision*, 12(9), 953.
- Chelazzi, L., Miller, E. K., Duncan, J., & Desimone, R. (1993). A neural basis for visual search in inferior temporal cortex. *Nature*, 363(6427), 345–347.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of 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.
- Dombrowe, I., Olivers, C. N. L., & Donk, M. (2010). The time course of working memory effects on visual attention. *Visual Cognition*, 18(8), 1089–1112.
- Downing, P. E. (2000). Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science*, 11(6), 467–473.
- Downing, P. E., & Dodds, C. M. (2004). Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition*, 11(6), 689–703.
- Han, S. W., & Kim, M. S. (2009). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1292–1302.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 108(3), 356–388.
- 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.
- 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.
- 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.
- Olivers, C. N. L. (2009). What drives memory-driven attentional capture? The effects of memory type, display type, and search type. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(5), 1275–1291.
- 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., & 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.
- 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.
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition*, 19(7), 956–972.
- 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. (2009). Automatic selection of irrelevant object features through working memory. *Experimental Psychology*, 56(3), 165–172.
- Soto, D., Humphreys, G. W., & Heinke, D. (2006). Working memory can guide pop-out search. *Vision Research*, 46(6-7), 1010–1018.
- Soto, D., Humphreys, G. W., & Rotshtein, P. (2007). Dissociating the neural mechanisms of memory-based guidance of visual selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*,

- 104(43), 17186–17191.
- 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 University Press.
- 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.
- Woodman, G. F., & Arita, J. T. (2011). Direct electrophysiological measurement of attentional templates in visual working memory. *Psychological Science*, 22(2), 212–215.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(2), 363–377.
- Woodman, G. F., Luck, S. J., & Schall, J. D. (2007). The role of working memory representations in the control of attention. *Cerebral Cortex*, 17(Suppl 1), i118–i124.
- Zhang, B., Zhang, J. X., Huang, S., Kong, L. Y., & Wang, S. P. (2011). Effects of load on the guidance of visual attention from working memory. *Vision Research*, 51(23–24), 2356–2361.
- 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.

Mechanisms Underlying the Attentional Guidance from Working Memory Representations

ZHANG Bao¹; HUANG Sai²

(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)

Abstract: People had to select specific information from complex visual scene every time to avoid overloading the limited information processing system. When extracting relevant information from a complex visual environment, working memory (WM) representation would bias attention to stimuli that were the same or the similar to the search target, as to optimize target selection while ignoring the distractors. The present study systematically reviewed the emerging evidences on the attentional guidance from WM representations. After discussing the following three controversial issues: Could WM guide attention automatically? Could verbal WM guide attention? And did WM always guide attention? We concluded that the WM could top-down guide attention, but it was subjected to some constrains.

Key words: working memory; visual attention; attentional guidance