

• 主编特邀(Editor-In-Chief Invited) •

视觉搜索中基于工作记忆内容的注意捕获与抑制^{*}

张 明^{1,2} 王爱君¹

(¹ 东北师范大学心理学院, 长春 130024) (² 天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300074)

摘 要 注意是对有关信息的选择及对无关信息的抑制, 工作记忆是对有关信息的保持以及对无关信息的抑制, 两者在一定程度上都体现了选择性地指向与当前任务有关的刺激并同时抑制无关刺激。在系统地回顾已有研究的基础上结合新近的 ERP 研究, 从视觉搜索中基于工作记忆内容的注意捕获与注意抑制两个角度综述了视觉工作记忆与视觉选择性注意的相关研究。研究者们主要从两方面对该领域的问题进行了探讨: (1) 视觉工作记忆内容对视觉选择性注意的导向作用; (2) 视觉工作记忆内容对视觉选择性注意产生导向作用的条件。文章对以往的研究进行了总结, 指出了无论保持在视觉工作记忆的内容是捕获注意还是受到抑制, 都存在着自上而下和自下而上两种加工机制。

关键词 工作记忆; 视觉搜索; 注意捕获; 注意抑制

分类号 B842

1 引言

视觉系统是一个资源有限的信息加工系统。面对着周围大量的复杂信息, 视觉注意只能选择有限的信息进行加工。这一过程中, 个体有选择地对视觉信息进行知觉和反应, 通过选择与当前任务相关的特定目标并成功地忽略其他的无关信息(即干扰项), 以保证行为的正确性和有效性。工作记忆(Working Memory, WM)是指在解决认知任务的过程中, 用于信息加工并同时保持与当前任务相关信息的系统或机制, 在学习、记忆、思维及问题解决等高级认知活动中具有重要作用。工作记忆和选择性注意是在知觉、思维和行为间的动态交互作用中两个重要认知系统。工作记忆在执行任务过程中是用于信息暂时存储和加工的资源有限系统, 选择性注意是对外界丰富的信息进行筛选以确保有限的认知资源得以高效运行的认知

系统(张明, 张阳, 2007)。

近年来, 工作记忆与视觉选择性注意之间的研究越来越受到关注。许多研究发现, 两者之间存在交互作用, 工作记忆的内容会影响视觉注意的导向, 即视觉注意选择工作记忆中保持的空间或物体。在工作记忆内容对视觉注意的影响过程中, 工作记忆主要参与外界信息的加工、暂时性存储和执行控制等认知过程。注意则控制了外界信息进入信息加工系统的通道, 二者结合在一起构成了信息加工系统的中心环节(白学军, 尹莎莎, 杨海波, 吕勇, 胡伟, 罗跃嘉, 2011)。简言之, 注意是对有关信息的选择, 对无关信息的抑制, 工作记忆是对有关信息的保持以及对无关信息的抑制, 两者在一定程度上都体现了选择性地指向与当前任务有关的刺激表征并同时抑制无关刺激(Olivers, 2008; Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006)。此外, 工作记忆与视觉注意所涉及的脑区也具有相当大的重叠(Awh & Jonides, 2001; Labar, Gitelman, Parrish, & Mesulam, 1999)。许多实验的结果表明, 当视觉工作记忆中的内容与视觉注意指向的对象具有某些共同的特征时, 保持在工作记忆中的内容会对视觉选择性注意产生一定影响,

收稿日期: 2012-04-25

^{*} 高等学校博士学科点专项科研基金博导类资助课题(20110043110012); 教育部人文社会科学重点研究基地项目(2009JJDXXL004)。

通讯作者: 张明, E-mail: zhangm@nenu.edu.cn

即视觉注意会优先选择视场中与工作记忆中保持的内容具有相同或相似的刺激表征。

由于研究者是从不同的角度对工作记忆内容能否引导视觉注意进行研究,其研究结果也存在不一致。总体上来说,视觉工作记忆与视觉选择性注意之间的关系还存在一定的争议。一方面观点认为,工作记忆的内容会对选择性注意产生捕获效应(Downing, 2000; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Olivers et al., 2006; Kumar, Soto, Humphreys, 2009; Carlisle, & Woodman, 2011b)。另一方面的观点认为,工作记忆的内容对选择性注意并不总是产生捕获效应,甚至会产生抑制效应(Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Woodman & Luck, 2007; Han & Kim, 2009; Theeuwes, Belopolsky, & Olivers, 2009; Sawaki & Luck, 2011)。本文在以往研究的基础上结合最新的研究成果,系统地回顾了视觉搜索过程中工作记忆内容对视觉选择性注意影响的相关文献,对基于工作记忆内容的视觉选择过程形成注意捕获和注意抑制两方面进行了论述,并提出无论工作记忆内容是捕获注意还是受到抑制都存在着自上而下和自下而上两种加工机制。

2 基于工作记忆内容的注意捕获

在我们的平时生活中常常会经历这样的场景:周末的一个上午你在家做家务,当你拿着笤帚在扫地的过程中会想到,一会儿扫完地后就要用墩布去擦地,并在头脑中勾勒出要仔细的把屋内的某些角落也要清理干净。当你扫完地走进卫生间拿簸箕装扫出来的垃圾时,然而这时你却不经意间地拿起了墩布而非簸箕。这个例子说明了个体当前工作记忆中的内容会引导视觉注意。许多认知神经科学的实验结果也表明,当视觉工作记忆与视觉注意共同具有某些特征时,保持在工作记忆中的内容会对视觉选择性注意产生一定影响。Soto 等人的研究发现,相对于中性线索条件而言,当保持在工作记忆中的刺激再次出现在搜索序列中时,左中颞回、前上颞回、右侧脑岛、中央前回和后回以及枕叶等区域的活动性增强(Soto et al., 2011)。同时, Soto 等人 and Grecucci 等人的研究也指出当保持在工作记忆中的线索再次出现在搜索序列中时能够诱发早期视觉皮层、中

颞叶以及前额叶区域的神经活动或者缩短中颞叶和前额叶区域对此条件下的反应时间(Soto, Humphreys, & Rotshtein, 2007; Grecucci, Soto, Rumiati, Humphreys, & Rotshtein, 2010)。

2.1 工作记忆作为“目标模板”捕获视觉注意

陈彩琦(2004)的研究采用 Downing (2000)的实验范式考察工作记忆对视觉选择性注意的影响。研究中先呈现一个记忆项目,随后快速闪现两个几何图形,其中一个为先前记忆过的。之后在注视点的两侧随机出现目标,要求判断目标是否出现。结果发现,当探测刺激出现在与记忆内容相同的搜索刺激所在的位置时所引发 ERP 的 P1 和 N1 成分波幅显著大于探测刺激出现在另一个位置时所引发 ERP 成分波幅(P1、N1 成分的波幅变化模式被认为是空间选择性注意的特殊标志)。也就是说虽然快速闪现的刺激与当前任务无关,但是由于记忆匹配项在每个试次中都会呈现,并且在 50%试次中记忆匹配项与接下来呈现的探测目标所在空间位置是相同的。因此被试会采取主动注意记忆匹配项的策略以更好地完成视觉搜索任务和工作记忆探测任务,即视觉工作记忆内容引发了指向该内容所在位置的选择性注意定向。Carlisle 和 Woodman (2011b)发现,当记忆项目与搜索分心物匹配时不能诱发 N2pc 成分(N2pc 成分反映了对某个刺激的注意过程,在脑电活动上体现为:在刺激出现位置的对侧脑区产生一个比同侧脑区更大的负成分(Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997; Luck & Hillyard, 1994; Woodman & Luck, 2003)),而当记忆项目与搜索目标匹配时能够诱发显著的 N2pc 成分。从而证明了仅仅是工作记忆表征并不能有效的引导视觉注意,而是目标驱动的执行控制能够调节工作记忆表征和视觉注意之间的交互,也就是说当记忆匹配项与当前视觉注意任务的目标具有某种共同特征时,被试可能会采取主动注意记忆匹配项的策略以更好地完成注意任务(Carlisle & Woodman, 2011a)。在这种情况下,工作记忆内容可以被用来主动引导注意选择视场中与之匹配的刺激。同时,一些脑成像研究也指出当保持在工作记忆中的内容与搜索目标匹配时丘脑枕(pulvinar)的活动性增强,当保持在工作记忆中的内容与搜索序列中的分心物匹配时丘脑枕的活动性减弱。

根据 Desimone 和 Duncan 提出的偏向竞争模

型(biased competition model), 当前保持在工作记忆中的表征会以自上而下的方式增强视觉皮层中与之相似的知觉表征的激活程度, 从而使得视场中与工作记忆内容相似的物体取得竞争优势并最终获得注意(Desimone & Duncan, 1995)。因此, 当视觉搜索中的目标项目与工作记忆中保持的项目匹配时, 目标项目的搜索速度将会较快。对灵长类动物的单细胞神经生理学研究为偏向竞争模型提供了重要的证据(Chelazzi, Duncan, Miller, Desimone, 1998; Chelazzi, Miller, Duncan, Desimone, 1993, 2001)。例如, Chelazzi 等人(1993)在一个简单的视觉搜索任务中记录短尾猿下颞叶细胞的神经活动, 结果发现, 在搜索刺激呈现之前的延迟阶段下颞叶细胞持续对搜索目标表现出选择性反应, 表明搜索目标消失后目标模板仍然积极保持在工作记忆中。研究者认为, 工作记忆中积极保持的目标模板能够以自上而下的方式调节早期视觉皮层的神经活动, 从而使得视场中具有目标特征的物体优先获得注意偏向。

一些以人类为被试的行为学研究认为, 保持在工作记忆中的目标模板使视野中具有目标特征的刺激自动优先获取注意, 此结果支持偏向竞争模型(Carlisle & Woodman, 2011b; Downing, 2000; Varakin & Alexander, 2006)。Downing (2000)使用双任务实验范式, 利用人脸图片及几何图形作为实验材料, 要求被试在工作记忆保持阶段完成一个探测区分任务, 结果发现探测刺激出现在线索化面孔位置时的辨别时间更短。说明了视觉工作记忆中的内容即便与当前任务目的无关, 也会捕获个体的注意, 即被试利用工作记忆内容主动引导视觉注意选择记忆匹配项。Varakin 等人(2006)的研究发现, 只有当被试采取主动注意和工作记忆内容匹配项的策略时工作记忆内容才能够引导视觉注意, 而那些报告没有采取这种策略的被试的搜索绩效并没有受到工作记忆内容的影响, 这表明工作记忆内容引导视觉注意是一个主动过程。

通过对灵长类动物的单细胞神经生理学实验、人类为被试的行为学实验以及脑神经科学实验的研究发现, 保持在工作记忆中的内容当其再次出现时能够对视觉选择的过程给予一个主动引导。在这个过程中相对于目标模板而言, 视场中没有明显的突显刺激或其他外源性刺激, 可以说

视觉搜索过程中来自自下而上的刺激驱动引起的注意较弱或者基本不存在刺激驱动的注意, 而是较大程度上的依赖于保持在工作记忆中的目标模板会以自上而下的方式引导视觉注意优先选择视场中与之匹配的物体, 这种优势效应即使在较早期阶段(P1、N1 的潜伏期内)也体现出来了。

2.2 工作记忆作为“匹配刺激”捕获视觉注意

研究也发现, 目标刺激要比非目标刺激产生更大的 P300 波幅且 P300 波幅与所投入的心理资源和任务难度成正相关(Kok, 2001; Stelt, Kok, Smulders, Snel, & Boudewijn, 1998)。当先前记忆的客体作为分心物出现在随后搜索的序列中, P300 波幅增大, 这是因为在搜索序列中, 重复出现的客体与需要反应的目标间出现冲突, 使得对目标的选择更加困难。Phillips 和 Takeda (2009)采用 ERP 技术探讨了有效和无效条件下视觉工作记忆对视觉搜索的影响。要求被试在搜索序列中寻找与记忆项目相同的客体, 并对它的位置做出反应。结果发现当与记忆项目有相同特征的分心物出现时, P300 的波幅较小。Kumar, Soto 和 Humphreys (2009)通过要求被试在工作记忆保持阶段完成一个视觉搜索任务。每个试次开始的时候呈现给被试一个彩色的几何图形, 要求被试对其记忆。在工作记忆保持的阶段要求被试在搜索序列中搜索一个被彩色几何图形包围着的倾斜线段, 并判断其方向。实验分为三种条件: (1)视觉搜索序列中与记忆匹配的刺激与搜索目标出现在同一侧; (2)视觉搜索序列中与记忆匹配的刺激出现在搜索目标的对侧; (3)搜索序列中不出现与记忆匹配的刺激。结果发现, 相对于目标出现在搜索序列中与工作记忆匹配的刺激的刺激的对侧或者与工作记忆匹配刺激不出现搜索序列中的条件, 搜索目标与工作记忆匹配的刺激出现在搜索矩阵的同侧时诱发了更大的 N2pc 的振幅。为与工作记忆内容匹配的刺激能够捕获注意提供了一个强有力的证据。Rotshtein 等人采用功能性磁共振成像技术研究了丘脑枕在解决无效线索条件下保持在工作记忆中的项目和搜索目标之间竞争中的作用。关联性分析(connectivity analyses)指出, 在无效线索条件下, 丘脑枕和对侧颞顶联合区(TPJ)以及丘脑枕和视觉皮层在相对的脑半球的连通性增强。与此同时, 在无效线索条件下, 丘脑枕活动的减弱表明了丘脑枕对搜索目标进行反应的一些区域

的抑制 (Rotshtein, Soto, Greccucci, Geng, & Humphreys, 2011)。

Soto 等人使用双任务实验范式考察了工作记忆内容对早期视觉加工过程的自上而下认知控制作用。实验结果表明,即使保持在工作记忆的内容与当前的任务无关,并且视觉搜索目标是一个具有显著特征的突显刺激,与控制条件相比,当搜索序列中有分心物匹配记忆项时,保持在工作记忆中的内容能够捕获注意,从而使得对目标的搜索反应变慢。因此证明了这种自上而下的控制过程具有自动化性质(Soto, Humphreys, & Heinke, 2006; Soto & Humphreys, 2009)。Soto 等人采用信号探测分析(signal detection analysis)探讨了保持在工作记忆中的刺激对视知觉的影响。结果表明,尽管记忆中保持的刺激是无效线索,但当这个无效线索再次出现在搜索序列中时相对于搜索序列中的其它刺激会在知觉加工的早期阶段产生更大的影响,从而提高了视知觉的加工绩效(Soto, Wriglesworth, Bahrami, & Humphreys, 2010)。

当记忆匹配项作为干扰刺激出现在视场中时,由于记忆匹配项不是与视觉搜索任务的目标模板匹配,而是与保持在工作记忆中的其他无关记忆表征相匹配,这种情况下主动注意作为干扰刺激的记忆匹配项将会不利于完成搜索任务,所以被试将不会有明显的动机去主动选择记忆匹配项。但由于该刺激与工作记忆内容匹配,表现出了相对于其它刺激而言仍然具有“独特性”,所以会以自下而上的方式捕获注意,只是这种自下而上的捕获是基于来自自上而下的工作记忆基础之上的。结果表现为在行为反应时上对工作记忆内容匹配的刺激反应时较长,在脑电活动上表现为会出现视觉选择与工作记忆内容相匹配的项目的脑电成分(N2pc)。这说明了保持在工作记忆中的内容能够自动引导视觉注意选择视场中与之匹配的物体。

3 基于工作记忆内容的注意抑制

研究者发现,视觉工作记忆内容引导注意控制的方式是比较灵活的,可根据任务的不同需要采取策略性的抑制(Downing & Dodds, 2004; Han & Kim, 2009; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Sawaki & Luck, 2011; Theeuwes et al., 2009; Woodman & Luck, 2007)。

Kumar, Soto 和 Humphreys (2009)研究发现, N1 和 P1 的波幅在不同视觉工作记忆条件下没有显著差异,说明储存在视觉工作记忆中的客体表征并没有对目标的早期加工产生影响。Luck 和 Hillyard 认为,视觉搜索中的 P1 成分反映对非目标位置的抑制,而 N1 成分则反映了对目标位置的注意(Luck & Hillyard, 1995)。Telling 和 Kumar 等人也发现,分心物存在、目标存在和目标缺失三种条件下的 P1 和 N1 均无显著差异,说明目标和分心物的差异不足以影响早期的视觉加工(Telling, Kumar, Meyer, & Humphreys, 2010)。Sawaki 和 Luck (2011)采用 Pd 这一事件相关电位成分作为视觉选择过程中出现注意抑制的指标,结果发现,与记忆颜色匹配的探测项目诱发了一个 Pd 成分。Pd 成分反映了注意对某个刺激的偏离,在脑电活动上体现为:在该刺激出现位置的对侧脑区诱发一个比同侧脑区更大的正成分(Hickey, Lollo, & McDonald, 2009)。表明了与当前任务无关的工作记忆内容会受到抑制,从而说明当工作记忆内容与当前的任务无关的情况下,视觉选择会抑制与工作记忆内容相匹配的项目。

Houtkamp, Spekreijse 和 Roelfsema (2002)采用视觉搜索范式,通过眼动指标(注视点的滞留时间,注视次数)探讨了工作记忆内容对注意的导向作用。结果发现,与工作记忆内容相匹配的项目与其它分心物没有差别。研究者由此认为,工作记忆内容匹配项目不会总是对选择性注意起导向作用,有时工作记忆内容对选择性注意不起导向作用,在工作记忆中搜索目标与其它项目是分别存储的,互不干扰。Downing 和 Dodds (2004)采用双任务实验范式研究了视觉工作记忆对视觉搜索过程中注意导向的作用。结果发现,视觉工作记忆中保持的项目对视觉搜索没有起到干扰的作用,说明了注意没有自动的选择与工作记忆内容相匹配的分心物。对此,研究者提出了两种解释:一种观点认为,相对于其他记忆表征,与当前任务相关的目标表征在作为一个整体的视觉工作记忆中取得竞争偏向;另一种解释认为,视觉工作记忆分别存储目标表征和其它与当前任务无关的记忆表征。Houtkamp 和 Roelfsema (2006)认为,当目标出现在搜索系列中时,与工作记忆匹配的项目不会被选择为眼睛运动的目标,即使眼睛注视点落在记忆项目上,时间也很短,即工作记忆匹

配项目对搜索反应不会产生影响。也就是说目标模板在工作记忆中具有特殊地位以优先引导视觉注意,而同时保持在工作记忆中的其他物体表征对注意的引导作用非常薄弱,并且只有在搜索目标不呈现在视场的情况下才可能被观察到。Woodman 和 Luck (2007)发现,当告知被试记忆项目永远都不会成为搜索目标时,匹配分心物的条件下比不匹配分心物的条件下搜索速度更快。说明视觉工作记忆并不是自动地引导注意选择与记忆表征类似的项目。实验结果支持注意的策略性抑制假设,即被试可以根据任务要求的不同,既可以将视觉工作记忆的内容作为需要选择注意的模板,也可以将其作为需要抑制注意的模板。Han 和 Kim (2009)的研究结果发现,对匹配分心物的抑制只发生在相对较慢的信息加工过程中。具体而言,简单搜索任务中信息加工速度很快,认知控制没有时间介入,因此匹配分心物将捕获注意;而复杂搜索任务中信息加工速度相对缓慢,认知控制有充分地时间介入,因此匹配分心物将受到抑制。也即当有足够的时间供认知控制介入时,自上而下的抑制过程可以逆转匹配分心物自下而上的注意捕获效应。

当工作记忆内容与当前视觉搜索任务无关时,由于受到目标模板的抑制作用,无关记忆表征很难自动引导视觉注意。但由于与工作记忆内容匹配的刺激具有“独特性”导致了其可以在早期视觉选择阶段内以自下而上的方式捕获视觉注意,但在晚期选择阶段来自自上而下的认知控制得以进入,即目标模板起到了作用,因此抑制了与工作记忆内容匹配的刺激。在行为学实验上表现为匹配记忆项出现的情况下反应时并未增加,在脑电实验上表现为会出现视觉选择抑制与工作记忆内容相匹配的项目的脑电成分(Pd)。

4 基于工作记忆内容的注意捕获与抑制的权衡

上述研究结果表明,在视觉搜索的过程中保持在工作记忆中的内容既可以主动地引导视觉注意选择与之匹配的项目,也能够自动地选择与之匹配的项目。甚至在某些情况下保持在工作记忆中的内容不能完全的对视觉注意产生捕获效应,有可能还会出现抑制效应。利用事件相关电位(ERP)技术的高时间分辨率特性的优势,通过对

一些特定的成分分析发现,与工作记忆内容匹配的刺激在一定程度上都能对视觉选择性注意产生影响,但这种影响还存在一定的争议。Kumar, Soto 和 Humphreys (2009)研究发现,搜索目标与工作记忆匹配的刺激出现在搜索矩阵的同侧时诱发了更大的 N2pc 的振幅。为与工作记忆内容匹配的刺激能够捕获注意提供了一个强有力的证据。而 Sawaki 和 Luck (2011)却发现,搜索目标与工作记忆匹配的刺激出现在搜索矩阵的同侧时诱发了更大的 Pd 的振幅,表明了当工作记忆内容与当前的任务无关的情况下,视觉选择会抑制与工作记忆内容相匹配的项目。那么一个重要问题是,在视觉搜索中保持在工作记忆中的内容是形成注意捕获还是受到抑制的条件是什么?也就是说工作记忆内容在注意捕获和注意抑制之间是怎样进行权衡的?

4.1 知觉负载

按照选择性注意的负载理论(Lavie, Hirst, Fockert, & Viding, 2004),高级认知功能负载过高会消耗掉用以进行认知控制的心理资源,视场中的其它干扰刺激就会由于得不到足够的注意资源而不被选择。Han 和 Kim (2007)通过增加搜索目标与干扰刺激之间的相似性来提高知觉负载的水平,结果发现,在低知觉负载条件下作为干扰刺激的记忆匹配项能够自动捕获注意,但在高知觉负载条件下这种基于工作记忆内容的视觉注意捕获现象消失了,甚至有可能出现抑制效应。虽然这一理论对此的解释有一定的局限性,但是在一定程度上支持了选择性注意的负载理论。然而,一些研究却发现知觉负载并不影响视场中与工作记忆内容有着语义联系的干扰刺激捕获视觉注意,而相应的认知负载(工作记忆负载)会影响视场中与工作记忆内容有着语义联系的干扰刺激捕获注意,并且相对于低认知负载条件,在高认知负载条件下视场中与工作记忆内容匹配的无关刺激更容易干扰视觉搜索,产生明显的捕获效应(Belke, Humphreys, Waston, Meyer, & Telling, 2008)。上述研究结果的差异可能是因为相对于知觉负载对具体特征值匹配的视觉注意捕获的影响来说,基于抽象语义匹配的视觉注意捕获并不受知觉负载的影响(潘毅, 2010)。也可能是由于 Han 和 Kim (2007)的研究中搜索目标具有稳定性,在整个实验过程中保持不变,而 Belke 和 Humphreys 等人

(2008)的研究中目标在一直不断的变化,且无法预测是否出现。因此可以说自上而下的认知控制是否存在也对此产生了一定的作用。

4.2 认知控制时程

为了抑制与当前任务目标无关的低优先权刺激对行为的影响,个体需要利用一些高级认知功能(如工作记忆)来积极保持当前任务目标的高优先权以保证行为处于当前任务目标的控制之下。Han 和 Kim (2009)系统的操作了目标与分心物的相似性,并且延迟视觉搜索序列的出现时间,使得来自自上而下的认知控制有足够的时间进入。研究发现在无效线索条件下,当记忆项与视觉搜索的时间间隔(ISI)比较短时,自上而下的认知控制没有足够的时间得以进入,保持在工作记忆中的内容自动地捕获注意,工作记忆内容显著地损害了视觉搜索绩效。而当这个时间间隔足够长,被试在视觉搜索任务呈现前就会有充足的时间执行认知控制功能以分离目标模板和无关记忆表征时,工作记忆中的无关表征对视觉搜索的影响消失,来自自上而下的认知控制有足够的时间得以进入,保持在工作记忆中的内容就不会自动地捕获注意,甚至在一定的程度上也可能受到抑制。

4.3 搜索策略

被试采取的搜索策略决定了工作记忆内容在视觉搜索中的作用,并且认为保持在工作记忆中的内容是否引导视觉注意一定程度上取决于被试是否能够有效的采取搜索策略。当记忆匹配项有可能成为目标或者未明确告知被试记忆匹配项永远不是目标的情况时,被试没有形成一定的搜索策略来优化搜索的绩效。但当被试知道记忆匹配项不可能是目标时,被试会采取主动抑制与记忆项目匹配的干扰项目以提高搜索绩效(Woodman & Luck, 2007)。一些研究也指出被试会根据实验中给予的不同指导语来采取策略性和自动化的反应(Carlisle & Woodman, 2011)。

4.4 注意焦点

Pan 和 Soto (2010)研究发现,工作记忆内容对视觉注意的影响依赖于空间注意的焦点。实验中要求被试在工作记忆的保持阶段完成视觉搜索任务,与之前的实验不同的是,当在快速闪现的刺激出现之前呈现一个内源性的线索,并且告知被试线索的有效性为 100%时发现,被试会根据内源性的箭头线索的提示来转换和分配自己的注

意焦点,此时与工作记忆匹配的刺激捕获注意效应的较强自动性现象便会消失(Pan & Soto, 2010)。此外也有研究表明,基于工作记忆的注意捕获是通过视觉选择过程中目标即将出现的空间位置的内源性和外源性线索来调节的(Botta, Santangelo, Raffone, Lupiáñez, & Belardinelli, 2010)。Downing 和 Dodds (2004)要求被试同时记住两个物体,其中一个物体为视觉搜索的目标,实验结果并没有发现工作记忆内容对视觉注意的自动引导作用。研究者认为目标模板和其他无关表征在工作记忆中可能是分开存储的,只有处于注意焦点(focus of attention)的目标模板才能够引导视觉注意。Houtkamp 和 Roelfsema (2006)也认为目标模板在工作记忆中具有特殊地位以优先引导视觉注意,而同时保持在工作记忆中的其他物体表征对注意的引导作用非常薄弱,并且只有在搜索目标不呈现在视场的情况下才可能被观察到。

4.5 刺激属性

Lee 和 Kim (2002)探讨了工作记忆中刺激的熟悉性对注意分配的作用。通过重复出现刺激来控制刺激的新异性。结果发现,当被试记忆新项目时,对出现在新项目位置上的探测反应时更快;但当被试记忆熟悉的项目时,工作记忆的内容对注意分配没有导向作用。Olivers (2009)认为刺激的物理属性和表征地图等因素均影响着记忆驱动的视觉搜索过程。也有研究发现,当刺激的有效属性被利用时,与任务无关的刺激即使不在注意焦点内也仍然能够引导视觉注意(Zhang et al., 2010)。Oh 和 Kim (2003)发现,目标的明确程度是影响工作记忆内容与选择性注意关系的一个重要因素,他们发现,在目标模糊条件下,出现了工作记忆的导向作用,而在目标明确条件下,没有出现工作记忆内容的导向作用。

4.6 时间间隔

记忆项目与搜索序列之间的时间间隔(ISI)的不同也会产生不同的实验结果。例如, Soto 等人(2006)的研究中,记忆项目与搜索序列之间的时间间隔只有 317ms, Woodman 等人(2007)的研究中,两者之间的时间间隔为 1000ms,而 Downing (2000)的研究中,两者间的间隔为 2506ms。记忆项目与搜索序列之间的时间间隔不同,记忆项目的加工水平就不同。时间越长,记忆项目的编码

就越精细,从而也会影响搜索效率。Dombrowe, Olivers 和 Donk 发现,通过在视觉工作记忆的保持阶段呈现一个额外的视觉任务(RSVP)或者缩短视觉工作记忆刺激的呈现时间来限制对视觉工作记忆内容的加工时间,视觉工作记忆对视觉搜索的影响则会消失。结果说明了工作记忆的内容能够根据其呈现时间的长短对视觉注意进行不同程度的干扰,并且这一过程是取决于工作记忆内容的类型和视觉加工过程的持续时间(Dombrowe, Olivers, & Donk, 2010)。

综上所述,视觉搜索过程中,工作记忆内容能否对选择性注意产生作用,取决于很多因素,涉及到知觉负载、认知控制时程、搜索策略、注意焦点、刺激属性以及时间间隔等。不同的研究者根据实验要求采取了不同的研究设计操控了不同的变量,因此也存在不同的实验结果,其中一些研究者认为与工作记忆内容相同或相似的刺激能够捕获注意,另一些研究者却认为与工作记忆内容相同或相似的刺激能够抑制注意。然而近些年来许多研究者更多的认为在视觉搜索的过程中,与工作记忆内容相同或相似的刺激既能够捕获注意也能够抑制注意。

5 综合评价与展望

由于视觉系统的资源有限,来自外界的大量信息不能全部的进入人的视野,因而会根据需要选择少量的信息进行加工。根据视觉选择注意过程中的两阶段模型理论,视觉选择的过程可以分为早期视觉选择阶段和晚期视觉选择阶段。在早期阶段,外界大量的信息出现在视野中时视觉选择主要依赖于信息本身的特殊性以一种自下而上的方式进行视觉选择;而在晚期阶段,视觉选择则根据自上而下的认知控制来调节哪些信息会最终得以被选择从而做出行为反应。在这个过程中自上而下和自下而上两种加工过程都起到了不同程度的作用(Theeuwes, 2010)。

工作记忆对视觉选择性注意的影响中,当视觉搜索的过程中有突显刺激时,该突显刺激便会以自下而上的方式捕获视觉注意。而当其又与工作记忆内容匹配时,那么来自自上而下的工作记忆表征又会进一步促进其形成视觉捕获,从而导致该突显刺激在捕获视觉注意的过程中会同时受到自下而上和自上而下两种加工机制的作用

(Olivers et al., 2006)。当视觉搜索过程中分心物与工作记忆内容匹配的情况下,告知被试与工作记忆内容匹配的刺激永远不会是目标,这样被试便没有明显的动机去注意该刺激,因为该刺激的出现会干扰对目标刺激的选择。但与工作记忆内容匹配的刺激由于其“独特性”仍旧会以自下而上的方式捕获注意,只是这种自下而上的捕获是基于工作记忆基础之上的(Soto et al., 2006; Woodman & Luck, 2007)。当搜索任务较简单或者刺激呈现时间较短的情况下,来自自上而下的认知控制没有足够的时间进入,导致与工作记忆内容匹配的刺激会以自下而上的方式捕获注意。但当搜索任务较难或者刺激呈现时间较长的情况下,来自自上而下的认知控制有足够的时间介入对于当前任务无关的干扰刺激进行抑制,从而使得视场中与工作记忆内容相同或相似的物体抑制注意(Han & Kim, 2009)。

关于视觉搜索中工作记忆内容对选择性注意的影响,未来研究可以从以下几方面进行:(1)探讨多感觉交互的注意机制对视觉工作记忆的影响,以验证多感觉交互的注意机制对视觉工作记忆的影响是否优于单一通道的注意机制对视觉工作记忆的影响;(2)探讨不同的工作记忆类型与不同的注意类型之间的交互作用,以验证工作记忆对选择性注意的影响是否可以作用于跨感觉通道之中;(3)进一步通过操作不同的动机水平考察基于工作记忆的视觉选择的注意抑制效应是既可以受到自上而下认知控制的影响也可以受到自下而上加工机制的影响;(4)系统地通过事件相关电位(ERP)技术考察工作记忆对视觉选择性注意的影响,以明确自上而下和自下而上两种加工机制在整个过程中作用机制。

参考文献

- 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.
- 陈彩琦.(2004).视觉选择性注意与工作记忆的交互关系——认知行为与ERP的研究.博士学位论文,华南师范大学.
- 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》,15,8-15.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of

- attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3), 119–126.
- Belke, E., Humphreys, G. W., Watson, D. G., Meyer, A. S., & Telling, A. L. (2008). Top-down effects of semantic knowledge in visual search are modulated by cognitive but not perceptual load. *Perception and Psychophysics*, 70(8), 1444–1458.
- Botta, F., Santangelo, V., Raffone, A., Lupiáñez, J., & Belardinelli, M. O. (2010). Exogenous and endogenous spatial attention effects on visuospatial working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(8), 1590–1602.
- 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.
- Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E. K., & Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, 80(6), 2918–2940.
- 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.
- Chelazzi, L., Miller, E. K., Duncan, J., & Desimone, R. (2001). Responses of neurons in macaque area V4 during memory-guided visual search. *Cerebral Cortex*, 11(8), 761–772.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanism 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.
- Grecucci, A., Soto, D., Rumiati, R. I., Humphreys, G. W., & Rotschein, P. (2010). The interrelations between verbal working memory and visual selection of emotional faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 1189–1200.
- Han, S. W., & Kim, M. S. (2007). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but it under control. *Journal of Vision*, 7, 682.
- 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.
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760–775.
- Houtkamp, R., Spekrijne, H., & Roelfsema, P. R. (2002). Items in working memory do not automatically attract attention in visual search. *Journal of Vision*, 2(7), 53.
- 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.
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and Bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38(3), 557–577.
- Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience*, 30(2), 307–317.
- Labar, K. S., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (1999). Neuroanatomic overlap of working memory and spatial attention networks: A functional MRI comparison within subjects. *NeuroImage*, 10(6), 695–704.
- Lavie, N., Hirst, A., De Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 339–354.
- Lee, H., & Kim, S. H. (2002). Activity and familiarity of memory contents influence spatial attention. *Perception*, 31(1), 95.
- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, 33(1), 64–87.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000–1014.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience*, 80(1-4), 281–297.
- Oh, S. H., Kim, S. H. (2003). The guidance effect of working memory load on visual Search. *Journal of Vision*, 3(9), 62.
- Olivers, C. N. L. (2008). Interactions between visual working memory and visual attention. *Frontiers in Bioscience*, 13(3), 1182–1191.
- 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.

- 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.
- Phillips, S., & Takeda, Y. (2009). An EEG/ERP study of efficient versus inefficient visual search. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Amsterdam: The Netherlands.
- Rotshtein, P., Soto, D., Grecucci, A., Geng, J. J., & Humphreys, G. W. (2011). The role of the pulvinar in resolving competition between memory and visual selection: A functional connectivity study. *Neuropsychologia*, 49(6), 1544–1552.
- 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., 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.
- Soto, D., Mok, A. Y. F., McRobbie, D., Quest, R., Waldman, A., & Rotshtein, P. (2011). Biasing visual selection: Functional neuroimaging of the interplay between spatial cueing and feature memory guidance. *Neuropsychologia*, 49(6), 1537–1543.
- Soto, D., Wriglesworth, A., Bahrami-Balani, A., & Humphreys, G. W. (2010). Working memory enhances visual perception: Evidence from signal detection analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 36(2), 441–456.
- Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Automatic selection of irrelevant object features through working memory. *Experimental Psychology*, 56(3), 165–172.
- Telling, A. L., Kumar, S., Meyer, A. S., & Humphreys, G. W. (2010). Electrophysiological evidence of semantic interference in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(10), 2212–2225.
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132(2), 106–114.
- van Der Stelt, O., Kok, A., Smulders, F. T. Y., Snel, J., & Boudewijn Gunning, W. (1998). Cerebral event-related potentials associated with selective attention to color: Developmental changes from childhood to adulthood. *Psychophysiology*, 35(3), 227–239.
- Varakin, Donald Alexander. (2006). Visual working memory and attention guidance. *Doctor of Philosophy, Unpublished*.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 121–138.
- 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.
- Zhang, B., Zhang, J. X., Kong, L., Huang, S., Yue, Z., & Wang, S. (2010). Guidance of visual attention from working memory contents depends on stimulus attributes. *Neuroscience Letters*, 486(3), 202–206.

Working Memory Content-based Attentional Capture and Suppression in the Visual Search

ZHANG Ming^{1,2}; WANG Ai-Jun¹

(¹School of Psychology, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(²Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

Abstract: Visual attention is a kind of selection which points at relevant information and restrains irrelevant information. Working memory (WM) plays a role in holding associated information and suppressing unassociated information. This paper is based on systematic reviews of existing literature on guidance of visual attention from WM and combines recent research on event related potential (ERP). From the visual search based on the two points of view of attentional capture and attentional suppression of the content of WM, we summarized the related research of visual working memory (VWM) and visual selective attention. Researchers have mainly been discussing two aspects in this field: (1) the guidance of visual attention from WM; (2) the conditions of the guidance of visual attention from WM. It suggests that no matter the contents of VWM capture or restrain attention, there are top-down and bottom-up two kinds of processing mechanism.

Key words: working memory; visual search; attentional capture; attentional suppression