

工作记忆表征的激活与抑制状态 对注意引导效应的影响*

张 豹^{1,2} 邵嘉莹¹ 胡岑楼¹ 黄 赛¹

(¹ 广州大学教育学院/心理与脑科学研究中心, 广州 510006) (² 重庆文理学院认知与心理健康实验室, 重庆 402160)

摘 要 本研究采用双任务范式, 通过定向遗忘任务操纵工作记忆表征状态, 分别在目标无关和目标相关条件下考察工作记忆激活与抑制状态对视觉搜索早期注意引导效应的影响。实验 1 与实验 2 发现当工作记忆表征只可能与视觉搜索分心物匹配时(目标无关条件), 处于激活状态的工作记忆表征会引导视觉注意偏向到与之匹配的分心物, 表现出注意引导效应, 而处于抑制状态的工作记忆表征则没有观察到注意引导效应。实验 3 与实验 4 发现, 当工作记忆表征有可能与视觉搜索目标匹配时(目标相关条件), 处于激活状态的工作记忆表征能捕获注意, 而处于抑制状态的工作记忆表征只有与视觉搜索目标匹配时, 才表现出对该搜索目标反应的延迟。这些研究的结果表明(1)处于激活状态的工作记忆表征能有效地引导注意偏向到与之匹配的搜索目标或分心物, 并且这种注意引导效应并未受到抑制动机的影响而被消除或反转; (2)处于抑制状态的工作记忆表征能将抑制状态传递到视觉搜索阶段, 并延迟对与之匹配的搜索目标的反应。

关键词 工作记忆表征状态; 注意引导; 目标相关; 目标无关; 抑制

分类号 B842

1 前言

工作记忆与注意之间的交互关系是研究者们关注的热点问题(见综述: Olivers, 2008; Woodman & Chun, 2006; 张豹, 2012; 张豹, 黄赛, 2013; 张明, 张阳, 2007), 近 10 多年来, 大量研究发现存储在工作记忆中的记忆表征会自上而下地捕获注意, 从而引导注意选择(Downing, 2000; Kumar, Soto, & Humphreys, 2009; Pan, Xu, & Soto, 2009; Pashler & Shiu, 1999; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Soto & Humphreys, 2007; Soto, Humphreys, & Heinke, 2006; 白学军等, 2011; 胡艳梅, 张明, 徐展, 李毕琴, 2013; 潘毅, 2010b; 张豹, 黄赛, 侯秋霞, 2014; 张豹, 黄赛, 祁禄, 2013; 另见综述: Olivers, Peters, Houtkamp, & Roelfsema, 2011; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; 潘毅,

2010a; 张豹, 黄赛, 2013; 张明, 张阳, 2007)。Pashler 和 Shiu (1999) 最初对这一问题进行了研究, 他们在实验中让被试首先在心理内部形成一个给定词汇的表征图像(如大象), 然后完成一个快速序列呈现的视觉搜索任务。视觉搜索序列包括 1 个目标数字和 8 张图片, 其中 1 张图片与被试内部表征的图像相同。目标数字总是出现在第 5 个位置, 而与内部表征图像相同的图片在一半测试中出现在第 3 个位置, 在另一半测试中出现在第 7 个位置, 被试的任务是检测并报告目标数字。Pashler 和 Shiu 发现, 当数字在内部表征的图像之后呈现时, 对数字的检测成绩显著低于数字在内部表征图像之前呈现条件下的成绩, 即出现了注意瞬脱(Attentional blink)效应。此结果表明当快速序列视觉呈现中出现与心理表征相同的刺激时, 该刺激会捕获被试的注意, 从而损害对其后出现的目标数字的检测。随

收稿日期: 2015-01-09

* 国家自然科学基金项目(31200854, 31371034, 31271113)、广东省高等学校优秀青年教师培养计划项目(Yq2013130)、重庆文理学院认知与心理健康实验室开放课题(KFJJ1501)资助。

通讯作者: 黄赛, E-mail: sai.huang@139.com

后 Downing (2000) 也发现, 当探测刺激紧随着快速闪现的面孔后出现时, 被试对出现在记忆面孔位置的探测刺激的反应速度显著快于出现在非记忆面孔位置的探测刺激。Downing 解释为记忆面孔在面孔闪现时将注意捕获到其所在的位置, 从而加快了对该位置出现的探测刺激的检测。后来 Soto 及其研究团队在一系列研究中采用双任务范式, 先让被试记住一个图形, 然后在记忆保持的过程中插入一个视觉搜索任务, 在视觉搜索任务中, 工作记忆中存储的项目与视觉搜索目标共享特征(有效条件), 或与某个分心物共享特征(无效条件), 或与所有搜索刺激都不共享特征(控制条件), 结果发现有效条件下的搜索时间显著快于控制条件, 而无效条件下的搜索时间显著慢于控制条件, 这说明与工作记忆表征共享特征的搜索项目会引导注意偏向到该项目所在的位置(Kumar et al., 2009; Pan et al., 2009; Soto et al., 2005, 2006; Soto & Humphreys, 2007)。进一步研究发现, 该注意引导效应即使在工作记忆内容只与分心物匹配的条件下(Olivers, Meijer, & Theeuwes, 2006; Soto et al., 2006), 或在注意选择的早期阶段(Mannan, Kennard, Potter, Pan, & Soto, 2010; Soto et al., 2005), 或在自动化程度极强的视觉搜索(Pan, 2010; Soto et al., 2006)中都非常稳定地存在, 由此 Soto 等认为这种自上而下的工作记忆表征驱动的注意引导效应是一种较为自动化的过程(Soto et al., 2008)。

但后来的研究发现, 并非所有存贮在工作记忆中的项目都能无条件地捕获注意, 工作记忆表征对视觉注意的引导会受到工作记忆表征的激活状态的影响。例如 Downing 和 Dodds (2004) 在研究中, 要求被试记住两个项目, 其中一个项目作为随后视觉搜索任务的目标(目标项目), 另一个继续保持在工作记忆中(记忆项目), 结果发现, 当记忆项目在视觉搜索任务中再次出现时, 该项目并不能捕获注意。Peters 等采用类似的实验范式, ERP 结果发现在视觉搜索过程中, 与普通分心物相比, 目标项目的出现会引发一个更大的波形, 而记忆项目和普通分心物出现时引发的波形并没有明显的差异(Peters, Goebel, & Roelfsema, 2009)。Houtkamp 和 Roelfsema (2006) 采用眼动技术也发现了类似的效应, 即记忆项目出现时并不能比普通分心物捕获更多的眼动。Peters 等(2009)及 Olivers 等(2011)认为, 没有出现注意引导效应是因为目标项目的表征在工作记忆中处于注意焦点状态, 阻断了处于工作记忆从属状

态的记忆项目对视觉注意的引导, 而在 Soto 等人的系列研究中, 视觉搜索目标在整个实验中保持恒定, 因此不需要存储在工作记忆中与记忆项目竞争资源(Carlisle, Arita, Pardo, & Woodman, 2011; Woodman, Luck, & Schall, 2007), 因此记忆项目有足够的资源来构建一个强健而充分激活的记忆表征来引导注意(Olivers, 2009; Olivers et al., 2011)。此外, 还有研究甚至发现了与注意引导效应相反的注意抑制效应, 即注意会偏离与工作记忆表征匹配的搜索项目(Woodman & Luck, 2007; 胡艳梅等, 2013), 他们将此结果解释为被试事先明确知道“工作记忆表征永远只与搜索分心物匹配而不与搜索目标匹配”, 因而将工作记忆表征当作“注意拒绝”模板, 并通过认知控制(如策略、抑制动机)使注意偏离与之匹配的分心物。

虽然上述研究表明不同激活状态的工作记忆表征对视觉注意的引导存在差异, 但都不是对工作记忆表征状态进行直接操纵。例如 Downing 和 Dodds (2004)、Peters 等(2009)及 Houtkamp 和 Roelfsema (2006)的研究中, 记忆项目在工作记忆中处于从属状态主要是因为被试需要将与任务相关的“目标模板”存储在工作记忆的注意焦点, 而注意焦点只能保持一个项目(Oberauer & Bialkova, 2009)所致。而 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)主要是通过呈现指导语“记忆项目永远不同于搜索目标”来诱发被试在搜索任务中对记忆项目进行抑制。但在上述研究中, 视觉搜索任务之后需要对之前记忆的项目进行探测, 以确认被试是否记住该项目, 记忆错误的试次在数据处理中通常会予以剔除, 以保证视觉搜索过程中出现的注意偏向是来源于记忆项目的引导。因此, 上述研究中那些被抑制的记忆项目可能并未被真正地抑制, 而只是以某种“激活”状态(例如暂时地被贴上“抑制标签”或“注意拒绝标签”)存储在工作记忆中以用于完成最后的记忆探测任务。如果直接对工作记忆中的记忆表征的激活状态进行操作, 例如采用定向遗忘任务抑制工作记忆中的某些记忆表征, 这些被抑制的记忆表征是否依然能引导视觉注意? 这是本研究主要探讨的问题之一。另一方面, 上述研究所用的视觉搜索任务都是具有一定难度的任务, 例如 Downing 和 Dodds (2004)、Houtkamp 和 Roelfsema (2006)及 Peters 等(2009)研究中的视觉搜索任务都是从复杂的视觉图形中搜索特定的视觉图形, 而 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)研究中

的视觉搜索任务是从不同开口方向的方框中搜索特定开口方向的方框。这些具有一定难度视觉搜索任务在视觉搜索过程容易受到策略、认知控制等因素的影响, 从而影响注意引导效应的观察(Carlisle & Woodman, 2011; Han & Kim, 2009; 张豹等, 2013)。例如张豹等人(2013)在早期的眼动指标上发现了注意引导效应, 但在行为反应时指标上没有观察到注意引导效应, 所以他们认为这是因为视觉搜索过程中策略或认知控制(如抑制)因素的介入导致了反应输出阶段(即晚期)注意引导效应消失了。因此, 上述研究过程中注意引导效应的消失或反转有可能是视觉搜索过程中认知控制因素的介入所致, 而非视觉搜索任务之前工作记忆表征自身的抑制状态所致。因此本研究采用搜索效率相对较高的视觉搜索任务, 以尽可能地减少视觉搜索过程中认知控制的介入(Wolfe, 2007), 有效地探测到注意引导效应的存在。

Olivers 等(2006)曾采用定向遗忘任务与注意捕获任务相结合的双任务范式探讨了被抑制的工作记忆表征是否会影响注意捕获。他们假设工作记忆的抑制状态可能会传递到注意捕获任务中, 促使注意偏离与该工作记忆表征匹配的单例分心物(Singleton Distractor)从而减少注意捕获。在实验中他们首先让被记住两个颜色, 然后呈现一个数字提示被试只需记住其中的一个颜色(“记住项目”), 紧接着是一个注意捕获任务。注意捕获任务中的单例分心物既可能与处于激活状态的“记住项目”匹配也可能与处于抑制状态的“忘记项目”匹配。结果发现当单例分心物与“记住项目”匹配时能捕获更多的注意, 但当单例分心物与“忘记项目”匹配时既没有发现注意捕获增加, 也没有发现注意捕获减少。由此 Olivers 等(2006)认为工作记忆表征的抑制状态不能传递到注意捕获任务中, 因此不能引导注意。在定向遗忘任务中, 通常通过记住提示或“忘记”提示来让被试记住相关刺激或忘记无关刺激, 但有研究发现在记住提示与“忘记”提示下对相关刺激的工作记忆存在差异, 例如采用记住提示时发现了显著的提示效应(Griffin & Nobre, 2003), 但采用“忘记”提示时则没有发现提示效应(Washburn & Astur, 1998)。Williams 和 Woodman (2012)直接比较了记住提示与“忘记”提示下定向遗忘的差异, 行为结果发现当提示 100%有效时, 两种提示条件下的记忆探测正确率都显著高于无提示条件, 表现出提示效应。但 ERP 研究结果发现记住提示比忘记提

示条件下的 CDA (反映视觉工作记忆对相关信息的维持)更大, 而且忘记提示条件下 CDA 的启动时间显著慢于记住提示条件。由此他们认为两种提示条件对工作记忆表征作用的内部机制是不同的, 在记住提示条件下被试只需对相关信息进行复述并加以积极维持, 而在忘记提示条件下被试需要在复述和维持相关信息之前将无关信息(忘记提示的项目)予以剔除或抑制。在 Olivers 等(2006)实验中呈现的是记住提示, 因而在视觉捕获任务中没有发现注意偏离效应有可能是因为被试并不需要对“忘记项目”进行抑制, 而不是因为抑制状态不能传递到视觉捕获任务中。此外, 如张豹、金志成和陈彩琦(2008)所分析, Olivers 等(2006)采用的注意捕获任务中单例分心物容易从其他项目之中突显出来捕获注意, 也可能会掩盖与之匹配的工作记忆表征对注意的捕获。因此本研究同时采用记住与忘记两种提示条件, 考察工作记忆中曾被激活, 但被指示为遗忘的工作记忆表征是否能引导注意? 如果能, 不同提示条件下影响是否相同? 如果工作记忆表征被抑制, 抑制状态能否传递到视觉搜索过程中使注意偏离与之匹配的分心物, 从而促进视觉搜索?

Woodman 和 Luck (2007)认为, 工作记忆表征是以一种灵活的方式来促进或是抑制视觉注意选择, 即在视觉搜索过程中, 被试会根据工作记忆表征与搜索目标的相关性来主动采取策略进行搜索, 当工作记忆表征不可能作为搜索目标时(目标无关实验), 工作记忆表征会以“拒绝模板”的形式引导注意偏离与之匹配的分心物, 从而提高视觉搜索效率, 而当工作记忆表征可能与搜索目标匹配时(目标相关实验), 工作记忆表征会以“选择模板”的形式引导注意偏向与之匹配的项目。处于抑制状态的工作记忆表征对视觉注意的引导是否也会受到目标相关性的调节? 目前尚未可知, 因此, 本研究还将操纵工作记忆表征与视觉搜索目标的相关性, 对此问题进行探讨。此外, 操纵目标相关性还能检测抑制动机对注意引导效应是否起作用, 与 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)研究一样, 本研究在目标无关条件的实验中, 实验前通过指导语明确告诉被试“记忆阶段出现过的项目永远不会是搜索目标”。如果抑制动机起作用, 目标无关实验中则可能观察不到注意引导效应甚至观察到相反的注意抑制效应(如 Woodman & Luck, 2007; 胡艳梅等, 2013)。

综上所述, 本研究采用定向遗忘任务与视觉搜

索任务相结合的双任务范式,来探讨激活与抑制状态的工作记忆表征对视觉注意的引导作用。研究共包括 4 个实验,实验 1 与实验 2 主要考察工作记忆中的项目不可能与视觉搜索目标共享特征时(目标无关条件),不同状态的工作记忆表征对视觉注意的引导作用,实验 3 与实验 4 主要考察工作记忆中的项目可能与视觉搜索目标共享特征时(目标相关条件),不同状态的工作记忆表征对视觉注意的引导作用。其中实验 1 与实验 3 采用记住提示来操纵工作记忆表征的状态,而实验 2 与实验 4 采用忘记提示来操纵工作记忆表征的状态。

2 实验 1

实验 1 主要通过记住提示来操纵工作记忆状态,根据以往的研究结果,工作记忆中被提示的项目(TBR 项目)会得到积极的复述与保持,因而具有较高的激活状态(Williams & Woodman, 2012),而未被提示的项目(TBF 项目)可能被抑制,或被驱离出视觉工作记忆而处于离线状态(Donaldson, Petersen, Ollinger, & Buckner, 2001; Nee & Jonides, 2008)。基于以上研究结果,本实验预测,处于激活状态的 TBR 项目会引导注意偏向与之匹配特征的分心物,因此视觉搜索会变慢;如果 TBF 项目被抑制,且这种抑制状态会对随后的注意偏向产生影响,那么视觉搜索过程中注意会偏离与 TBF 项目匹配的分心物从而导致视觉搜索加速。但如果 TBF 项目处于离线状态,或被抑制但抑制状态不能对注意偏向产生影响,则 TBF 项目将不会引导注意,因而观察不到任何注意引导效应或注意抑制效应。

此外,根据 Woodman 和 Luck (2007)的研究结果,当工作记忆表征不可能与视觉搜索目标共享特征时(目标无关条件),被试会采用“注意拒绝”策略,使注意偏离与工作记忆匹配的搜索项目。胡艳梅等(2013)发现当被试明确知道工作记忆项目不可能成为搜索目标的特征时,会诱发被试的抑制动机,这种抑制动机会对工作记忆中的项目予以抑制,从而导致被试的注意在视觉搜索阶段偏离与工作记忆匹配的分心物。在实验 1 中,如果“注意拒绝”策略或抑制动机起作用,则会导致注意效应的反转,即在 TBR 分心物匹配条件下注意会偏离 TBR 项目匹配的分心物,促使视觉搜索加速。

2.1 方法

2.1.1 被试

23 名大学生参加本实验,其中女生 15 名,年

龄 19~23 岁,平均年龄 20.05 岁。视力或矫正视力正常,无色盲或色弱,此前均未参加过类似的实验。

2.1.2 仪器和材料

实验程序采用 E-Prime 1.1 软件编制,在戴尔品牌 OPTIPLEX 3010 型号的计算机上运行,刺激呈现在屏幕背景为灰色的 19 英寸的 CRT 显示器上(分辨率为 1024×768,刷新频率为 60 Hz)。

工作记忆任务中,记忆图形为 $1.3^{\circ} \times 1.3^{\circ}$ 视角的彩色方块。视觉搜索任务由 3 个分心物与 1 个搜索目标组成,4 个项目颜色彼此不同,分布在半径为 6° 视角的假想表盘的 1、4、7、10 点钟或 2、5、8、11 点钟位置上。其中分心物为 $1.3^{\circ} \times 1.3^{\circ}$ 视角、边框宽度为 0.23° 的彩色方框,其左右两侧边框的中间位置各有一个 0.25° 视角的开口。搜索目标为直径 1.3° 视角、线宽为 0.23° 视角的圆环,其左右两侧中间位置各有一个大小不同的开口,小开口宽度为 0.25° 视角,大开口宽度为 0.64° 视角。

已有研究发现,对工作记忆项目进行言语编码(Soto & Humphreys, 2007, 2008)和采用言语抑制任务(Soto & Humphreys, 2008)都会减弱注意引导效应。为了减少言语编码和言语抑制任务对注意引导效应的影响,研究中实验材料的颜色选用八种难以命名的自定义颜色(Zhang, Zhang, Huang, Kong, & Wang, 2011; 张豹等, 2014),其 RGB 值分别为: 88, 50, 50; 100, 158, 167; 191, 188, 143; 150, 120, 180; 142, 104, 6; 249, 205, 130; 174, 106, 101; 177, 187, 217。自定义颜色的选定程序如下,首先由 3 名主试独立制作几种不常见颜色,然后通过商议去除颜色相近或有争议的颜色,最后选取 17 名大学生(男生 7 名,年龄 19~22 岁,平均年龄 20.6 岁,视力或矫正视力正常,无色盲或色弱)对颜色进行评定。评定程序如下:将主试选择的 12 种自定义颜色与 10 种常见颜色(红、黄、蓝、绿、粉、青、橙、紫、黑、白)随机呈现给被试,要求被试在 2000 ms 对颜色进行命名,最后选用 2000 ms 内无命名反应或命名率较低($\leq 2/17$)的 8 种自定义颜色。

如前言所述,为了尽可能减少认知控制因素对注意引导效应的影响,本研究采用搜索效率相对较高的视觉搜索任务,即在多个正方形方框分心物中搜索一个圆环,圆环相对于正方形方框来说容易突显出来。但为了保证研究中的视觉搜索任务的高效性,预实验中采用简单的视觉搜索任务,通过变化搜索项目的数量(4 或 8)对正式实验中的视觉搜索任务的高效性进行检测。根据视觉搜索理论,高效

的视觉搜索任务(例如平行搜索)中搜索效率不受搜索项目数量的影响(Wolfe, 2007), 因此, 如果研究中采用的视觉搜索任务为平行搜索, 那么在两种不同的搜索项目数量(4 和 8)的视觉搜索中搜索时间应该是接近的。与正式实验一样, 预实验中视觉搜索任务是要求被试在正方形方框分心物中快速搜索目标圆形, 并按键判断目标圆形开口较大一侧的开口方向(朝左按“F”键, 朝右按“J”键), 不同的是, 预实验中增加了搜索项目数量为 8 的条件, 即 8 个颜色彼此不同的搜索项目呈现在 1、2、4、5、7、8、10 和 11 点钟位置上。22 名大学生(男生 10 名, 年龄 19~23 岁, 平均年龄 20.55 岁, 视力或矫正视力正常, 无色盲或色弱)的结果发现项目数量为 4 和 8 这两种条件下视觉搜索的错误率($1.02\% \pm 1.75\%$ vs. $0.74\% \pm 1.35\%$)与反应时(616 ± 82 ms vs. 619 ± 81 ms)差异不显著($p>0.05$), 尤其是两者的反应时非常接近, 表明本研究采用的视觉搜索为高效率的视觉搜索任务。

2.1.3 程序

被试坐在距离计算机屏幕 57 cm 的位置上。如图 1 所示, 实验程序包括 3 个阶段, 在记忆阶段, 屏幕中央首先呈现“开始记忆”提示, 被试按下空格键后呈现一个 $0.64^\circ \times 0.64^\circ$ 视角的白色“+”注视点 500 ms, 紧接着连续呈现两个需要被试记住的不同颜色的方块, 各自呈现 800 ms, 中间间隔 500 ms。再过 500 ms 后屏幕中央呈现一个白色数字(1 或 2, $0.85^\circ \times 1.27^\circ$ 视角)1000 ms, 要求被试只记住数字所提示的彩色方块(“1”与表示只需记住第 1 个彩色方块, “2”表示只需记住第 2 个彩色方块), 需要记住的

项目称之为 TBR (To-Be-Remembered)项目, 否则称之为 TBF (To-Be-Forgotten)项目。数字提示消失后呈现注视点, 持续时间随机设置为 500、600、700 或 800 ms, 随后进入视觉搜索阶段。视觉搜索任务中要求被试在 3000 ms 内快速搜索并正确按键判断视觉搜索序列中目标圆形的较大开口一侧的朝向。按键完后视觉搜索序列消失, 300 ms 后屏幕中央出现记忆探测项目。探测项目也是一个彩色方块, 探测项目可能与记忆阶段 TBR 项目(50%的测试)或 TBF 项目(25%的测试)颜色相同, 也有可能两者颜色都不同(25%的测试)。被试需要尽可能正确地按键判断探测项目是否与记忆阶段的 TBR 项目相同, 肯定反应按“F”键, 否定反应按“J”键。需要指出的是, 与 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)研究一样, 在实验前的指导语中明确告诉被试“记忆阶段出现过的项目的颜色永远不可能是搜索目标的颜色”。

记忆阶段记忆过的项目只与视觉搜索中的分心物特征匹配, 因此记忆项目与搜索项目之间的匹配关系包括以下 3 种: (1) TBR 分心物匹配条件——TBR 项目与搜索序列中其中一个分心物颜色相同; (2) TBF 分心物匹配条件——TBF 项目与搜索序列中其中一个分心物颜色相同; (3)控制条件——记忆阶段呈现的项目与搜索序列中所有项目的颜色都不相同。

本实验为单因素被试内设计, 自变量为匹配类型, 正式实验中每种匹配类型 50 次试验, 共 150 次试验, 正式实验前有 20 次练习测试以熟悉实验程

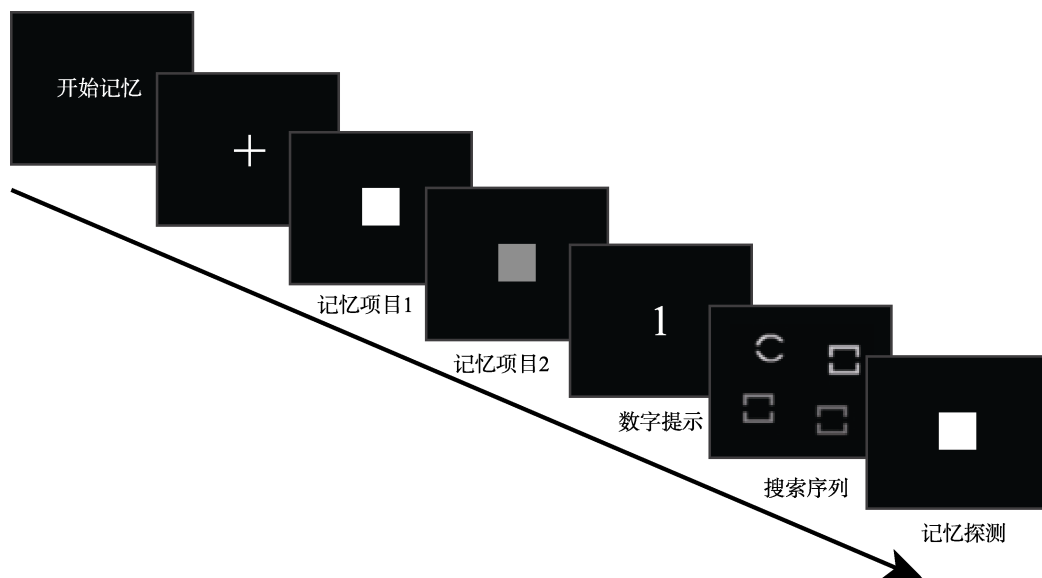


图 1 实验流程图

序和要求。整个实验需时约 30 min, 实验过程中“开始记忆”提示呈现时被试可自主决定是否休息以及休息时间。

2.2 结果与讨论

首先计算记忆任务的错误率, 3 名被试由于记忆错误率比较高(>25%)予以剔除, 20 名有效被试的平均记忆错误率 4.52%。视觉搜索的错误率是指正确记忆测试中视觉搜索任务在各匹配类型下的平均错误率, 反应时是指正确记忆和正确搜索测试中各匹配类型下剔除 3 个标准差之外的极端数据后的视觉搜索反应时。由于搜索任务比较容易, 4 个实验中视觉搜索的平均错误率都比较低(小于 1.5%, 实验 1 中平均搜索错误率为 0.70%), 故不对错误率作进一步分析。此外, 由于主要关注工作记忆对视觉注意引导的影响, 故只对各匹配条件下的视觉搜索反应时进行统计分析。

各匹配类型下的平均错误率与反应时见表 1。不同匹配类型下平均搜索反应时的重复测量方差结果发现匹配类型主效应显著, $F(2, 38) = 10.6, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.36$ 。采用 Bonferroni 校正后的多重比较发现: TBR 分心物匹配条件下的平均反应时显著大于控制条件($p < 0.005$), 但 TBF 分心物匹配条件与控制条件下的反应时比较接近, 差异不显著($p \approx 1$), 这提示采用记住提示操纵工作记忆表征状态时, 即使 TBR 项目不可能作为视觉搜索任务的目标刺激(目标无关条件), TBR 项目依然能引导注意偏向视觉搜索中与之匹配的分心物, 即出现了典型的注意引导效应, 而非 Woodman 和 Luck (2007) 及胡艳梅等(2013)研究中所出现的注意抑制效应。而 TBF 项目与分心物匹配时则没有观察到任何效应, 重复了 Olivers 等(2006)的研究结果。

表 1 实验 1 与实验 2 各匹配条件下视觉搜索反应时与错误率($M \pm SD$)

实验名称	分析指标	匹配类型		
		TBR 分心物匹配	TBF 分心物匹配	控制条件
实验 1	反应时(ms)	748 $\pm$ 108	705 $\pm$ 78	711 $\pm$ 98
	错误率(%)	0.32 $\pm$ 0.78	0.95 $\pm$ 2.83	0.83 $\pm$ 2.17
实验 2	反应时(ms)	790 $\pm$ 150	752 $\pm$ 126	758 $\pm$ 123
	错误率(%)	0.84 $\pm$ 1.28	0.68 $\pm$ 1.09	0.56 $\pm$ 0.99

3 实验 2

实验 2 主要通过忘记提示来操纵工作记忆状态, 根据 Williams 和 Woodman (2012)的研究结果, 当

提示为忘记时, 被试在对 TBR 项目进行积极复述之前会对 TBF 项目进行抑制。因此, 实验 2 预测, 由于 TBR 项目处于激活状态, TBR 分心物匹配条件下视觉搜索会变慢; 由于 TBF 项目处于抑制状态, 如果 TBF 项目的这种抑制状态能传递到在视觉搜索阶段并使注意偏离与之匹配的分心物, 那么 TBF 分心物匹配条件则会出现与注意引导效应相反的注意抑制效应, 即视觉搜索反而会加速。

3.1 方法

3.1.1 被试

25 名大学生参加本实验, 女生 15 名, 年龄 19~21 岁, 平均年龄 19.88 岁。视力或矫正视力正常, 无色盲或色弱, 此前均未参加过类似的实验。

3.1.2 实验材料与程序

实验 2 的程序与实验 1 的基本相同, 所不同的是指导语中数字提示的含义由记住改为忘记, 即要求被试忘记数字所提示的记忆项目。

3.2 结果与讨论

1 名被试由于记忆任务错误率高(>25%)而被剔除, 剩下的 24 名被试的平均记忆错误率为 7.19%, 正确记忆测试中视觉搜索的平均错误率为 0.69% (详见表 1)。不同匹配类型下平均搜索反应时的重复测量方差分析结果发现匹配类型的主效应显著, $F(2, 46) = 7.85, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.26$ 。采用 Bonferroni 校正后的多重比较基本重复了实验 1 的结果, TBR 分心物匹配条件的反应时显著大于控制条件($p < 0.05$), 而 TBF 分心物匹配条件与控制条件下的反应时只相差 6 ms, 差异不显著($p \approx 1$)。此结果表明当工作记忆项目与搜索目标无关时, TBR 项目会引导注意偏向视觉搜索中与之匹配的分心物, 再次证实了 TBR 项目注意引导效应的存在。虽然采用忘记提示, TBF 项目仍然没有观察到任何注意引导效应或注意抑制效应。

此外, Williams 和 Woodman (2012)发现, 在行为指标上记住提示下的记忆提示效应要显著大于忘记提示下的记忆提示效应, ERP 结果也发现记住提示比忘记提示诱发的 CDA 成份更大, 他们认为这是因为记住提示相关记忆刺激(即 TBR 项目)的激活更大。从实验 1 与实验 2 结果来看, 实验 1 的记忆成绩错误率低于实验 2 (4.52% vs. 7.19%), 且独立样本 t 检验结果发现两者之间差异显著, $t(42) = 2.05, p < 0.05$, 与 Williams 和 Woodman (2012)结果一致, 即记住提示下的记忆提示效应要显著大于忘记提示下的记忆提示效应。分别计算实验 1 与实验

2 中 TBR 分心物匹配条件下的注意引导效应(TBR 分心物匹配条件下的反应时减去控制条件下的反应时), 然后将注意引导效应纳入独立样本 t 检验进行比较, 结果发现实验间差异不显著(33 ms vs. 37 ms), $t(42) = 0.26, p = 0.79$, 此结果表明虽然记住提示条件下对 TBR 项目的激活显著高于忘记提示条件, 但两种提示条件下 TBR 项目对注意的引导效应却没有发现显著差异。

4 实验 3

前两个实验的研究结果发现, 当工作记忆项目与视觉搜索目标无关时, 不管是记住提示条件, 还是忘记提示条件, TBR 项目在视觉搜索中再次出现时都能引导注意偏向与之匹配的分心物, 而 TBF 项目没有发现任何效应。实验 3 与实验 4 中工作记忆项目有可能与视觉搜索目标匹配, 即在目标相关条件下考察不同状态的工作记忆表征对视觉注意的影响。由于与搜索目标相关, 因此在视觉搜索过程中注意无需拒绝或抑制与工作记忆项目匹配的搜索项目, 而是会偏向与之匹配的搜索项目。实验 3 与实验 4 分别采用记住提示与忘记提示来操纵工作记忆状态。

4.1 方法

4.1.1 被试

24 名大学生参加实验 3, 男生 8 名, 年龄 18~23 岁, 平均年龄 20.05 岁, 视力或矫正视力正常, 无色盲或色弱, 无类似实验经验。

4.1.2 实验材料与程序

实验 3 的材料与程序与实验 1 的相似, 但与实验 1 不同的是, 记忆阶段记过的项目可能与视觉搜索目标匹配, 即除了实验 1 中 TBR 分心物匹配、TBF 分心物匹配及控制条件之外, 实验 3 增加了 TBR 目标匹配条件与 TBF 目标匹配条件。在 TBR 目标匹配条件中 TBR 项目与搜索目标颜色相同, 在 TBF 目标匹配条件中 TBF 项目与搜索目标颜色相同。

正式实验中每种匹配类型各有 50 次测试随机混合, 正式实验前有 20 次练习测试, 整个实验需时约 50 min。

4.2 结果与讨论

3 名被试由于记忆错误率比较高(>25%)予以剔除, 21 名有效被试的平均记忆正确率 5.71%, 正确记忆测试的平均搜索错误率为 0.46%。视觉搜索任务的平均错误率与平均反应时见表 2, 不同匹配类型下的平均反应时的重复测量方差分析结果发现, 匹配类型主效应显著, $F(4, 80) = 19.39, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.49$ 。采用 Bonferroni 校正后的多重比较发现: TBR 分心物匹配条件下的反应时显著大于控制条件($p < 0.005$)和 TBR 目标匹配条件($p < 0.001$), TBR 目标匹配条件下的反应时显著小于控制条件($p < 0.001$), 但 TBF 分心物匹配条件、TBF 目标匹配条件与控制条件的差异都不显著($ps \approx 1$)。此结果表明当工作记忆中 TBR 项目与视觉搜索项目特征匹配时, 都出现了显著的注意引导效应, 表现为与控制条件相比, TBR 项目与分心物匹配时视觉搜索被延迟, 而与搜索目标匹配时视觉搜索则得到促进, 而工作记忆中的 TBF 项目不管是与搜索目标匹配还是与分心物匹配, 都不会引导视觉注意选择。

5 实验 4

5.1 方法

5.1.1 被试

24 名大学生参加实验 4, 其中女生 20 名, 年龄 18~23 岁, 平均年龄 19.83 岁, 视力或矫正视力正常, 无色盲或色弱, 此前均未参加过类似的实验。

5.1.2 实验材料与程序

实验 4 的实验材料与程序与实验 3 的基本相同, 所不同的是在指导语中将数字提示的含义由记住改为忘记, 即被试需要忘记数字提示的记忆项目。

5.2 结果与讨论

实验 4 中记忆任务错误率为 6.39%, 正确记忆测试中视觉搜索的平均错误率为 1.15% (各匹配类

表 2 实验 3 与实验 4 各匹配条件下视觉搜索反应时与错误率($M \pm SD$)

实验名称	分析指标	匹配类型				
		TBR 分心物匹配	TBR 目标匹配	TBF 分心物匹配	TBF 目标匹配	控制条件
实验 3	反应时(ms)	751 $\pm$ 110	681 $\pm$ 90	714 $\pm$ 103	719 $\pm$ 98	708 $\pm$ 98
	错误率(%)	0.83 $\pm$ 1.45	0.63 $\pm$ 1.24	0.21 $\pm$ 0.65	0.41 $\pm$ 1.29	0.20 $\pm$ 0.64
实验 4	反应时(ms)	786 $\pm$ 144	702 $\pm$ 109	725 $\pm$ 100	743 $\pm$ 107	721 $\pm$ 112
	错误率(%)	1.60 $\pm$ 2.36	0.92 $\pm$ 2.03	1.29 $\pm$ 2.05	0.83 $\pm$ 1.44	1.10 $\pm$ 2.19

型下的平均错误率与平均反应时见表 2)。将不同匹配类型下的平均反应时纳入重复测量方差分析, 结果发现: 匹配类型的主效应显著, $F(4, 92) = 19.34$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.46$ 。采用 Bonferroni 校正后的多重比较发现: 与实验 3 一致, TBR 分心物匹配条件下反应时显著大于控制条件($p < 0.001$); 而 TBR 目标匹配条件下的反应时显著小于控制条件($p < 0.05$), TBF 分心物匹配条件和控制条件差异不显著($p \approx 1$), 但与实验 3 不同的是, TBF 目标匹配条件下的反应时显著大于 TBF 分心物匹配条件和控制条件($p_s < 0.05$)。此结果表明当 TBR 项目与搜索项目匹配时, 都能引导注意偏向到与之匹配的搜索目标与分心物, 但对于 TBF 项目来说, 当它与分心物匹配特征时, 没有观察到注意引导效应, 但当它与搜索目标匹配时, 明显地延迟了对搜索目标的有效检测, 表现出注意抑制效应。这表明 TBR 项目与 TBF 项目都能引导注意, 只是 TBR 项目对注意的影响既可以通过引导注意偏向搜索目标, 也可以通过引导注意偏向分心物来实现, 而 TBF 项目对视觉注意的影响不是通过其对分心物的影响来实现, 而是通过其对搜索目标的抑制来实现的。

虽然实验 3 记忆错误率低于实验 4 (5.71% vs. 6.39%), 但独立样本 t 检验发现两者之间差异不显著, $t(43) = 0.62$, $p > 0.5$ 。分别计算 TBR 目标匹配条件下的引导效应(控制条件下的反应时减去 TBR 目标匹配条件下的反应时)与 TBR 分心物匹配条件下的引导效应(TBR 分心物匹配条件下的反应时减去控制条件下的反应时), 然后分别对两种匹配条件下的引导效应进行实验间比较, 独立样本 t 检验结果发现: 实验 3 与实验 4 在 TBR 目标匹配条件(27 ms vs. 19 ms, $t(43) = 0.79$, $p > 0.45$)和 TBR 分心物匹配条件(43 ms vs. 64 ms, $t(43) = 1.413$, $p > 0.16$)下的注意引导效应都没有发现显著性差异。

6 总讨论

本研究采用定向遗忘任务来操纵工作记忆表征的状态, 通过 4 个实验考察了不同激活状态的工作记忆表征对视觉注意的引导效应。结果发现, 当工作记忆中的项目只与视觉搜索分心物匹配时(目标无关条件), 不管采用记住提示(实验 1)还是忘记提示(实验 2), 分心物只有与 TBR 项目匹配时才会出现注意引导效应, 而与 TBF 项目匹配时则没有发现注意引导效应。当工作记忆中的项目有可能与视觉搜索目标匹配时(目标相关条件), 不管采用记

住提示(实验 3)还是忘记提示(实验 4), 与 TBR 项目匹配的搜索刺激都能捕获注意, 表现为当搜索目标与 TBR 项目匹配时会使视觉搜索加快, 而分心物与 TBR 项目匹配时会使视觉搜索变慢; 当 TBF 项目与视觉搜索任务中的分心物匹配时, 两种提示条件下都没有发现注意引导效应, 当 TBF 项目与视觉搜索目标匹配时, 记住提示条件下没有观察到注意引导效应, 但忘记提示条件下却发现了与注意引导效应相反的注意抑制效应。

工作记忆中曾被激活, 但被指示为遗忘的工作记忆表征能否引导注意? 工作记忆表征的抑制状态能否传递到视觉搜索过程中使注意偏离与之匹配的分心物, 从而促进视觉搜索? 这是本研究首要关注的问题。本研究采用定向遗忘任务来操纵工作记忆状态, 根据 Williams 和 Woodman (2012)的研究结果, 定向遗忘任务中记住提示与忘记提示对工作记忆表征作用的内部机制是不同的, 在记住提示条件下被试只需对 TBR 项目进行复述并加以积极维持, 而在忘记提示条件下被试需要在复述和维持 TBR 项目之前将 TBF 项目予以剔除或抑制。从本研究 TBF 项目的结果来看, 一方面, 当 TBF 项目在视觉搜索中与分心物匹配时, 4 个实验都未发现任何注意引导效应或注意抑制效应。造成这一结果的原因既有可能是因为 TBF 项目由于提示的作用而被剔除出工作记忆, 处于离线状态(Donaldson et al., 2001; Nee & Jonides, 2008), 从而不能引导注意, 也有可能是因为 TBF 项目由于提示的作用而被抑制, 工作记忆表征处于抑制状态(Williams & Woodman, 2012), 抑制状态不能传递到视觉搜索阶段, 因而不会表现出注意抑制效应。根据 Williams 和 Woodman (2012)的研究结论, 在记住提示条件下 TBF 项目应该是处于离线状态, 而在忘记提示条件下, TBF 项目到底是处于离线状态还是抑制状态, Williams 和 Woodman (2012)并没有明确说明。从 TBF 项目与搜索目标匹配的结果来看, 在记住提示条件下仍然没有发现任何注意效应(实验 3), 这与 TBF 项目在记住提示条件下处于离线状态的解释是一致的, 但在忘记提示条件下却发现了注意抑制效应(实验 4), 这一结果否定了 TBF 项目在忘记提示条件下被剔除处于离线状态的解释, 即如果 TBF 项目处于离线状态, 实验 4 应该出现与实验 3 一致的结果。TBF 项目处于抑制状态则能很好地解释实验 4 的结果, 如果 TBF 项目受到抑制, 并且抑制状态能传递到视觉搜索阶段, 当搜索目标与工作

记忆表征匹配时, 该搜索目标刺激需要先解除抑制状态, 因而导致对目标的反应延迟。因此, 在 Olivers 等(2006)实验中没有观察到注意的抑制效应, 不是因为 TBF 项目的抑制状态没有传递到注意捕获阶段, 而是因为他们实验中采用的是记住提示, 被试并不需要对 TBF 项目进行抑制。另外, 本研究的结果不但再次验证了定向遗忘任务中记住提示与忘记提示作用的机制不同, 还进一步深化了 Williams 和 Woodman (2012)的研究结果, 即在记住提示条件, 被试只需对 TBR 项目进行复述并加以积极维持, 因而 TBF 项目处于离线状态, 而在忘记提示条件下, 被试需要在复述和维持 TBR 项目之前将 TBF 项目予以抑制, 而非剔除, 因而 TBF 项目处于抑制状态。

但为什么在实验 2 与实验 4 中, 处于抑制状态的 TBF 项目只在 TBF 目标匹配条件下表现出了注意抑制效应, 而在 TBF 分心物匹配条件下未能表现出注意抑制效应呢? 这种分离可能反映了工作记忆表征在引导搜索目标和引导分心物时的内在作用机制是不同的(Carlisle & Woodman, 2011)。研究者认为在工作记忆表征引导注意的过程中, 当工作记忆表征与搜索目标匹配时会使视觉搜索“获益”(加速), 而当工作记忆表征与分心物匹配时会使视觉搜索“损失”(减速), 这种“获益”与“损失”的过程在某种程度上是相互独立的过程(Carlisle & Woodman, 2011), 前者反映的是对目标刺激的增强, 后者反映的是对无关刺激的抑制(Eriksen & Hoffman, 1974)。工作记忆表征对视觉注意引导时的“获益”与“损失”机制的分离得到了一些研究的证实, 例如 Carlisle 和 Woodman (2011)在研究中分别给被试呈现不同的指导语, 告知被试实验中工作记忆表征与视觉搜索目标匹配的概率为 20%或 80% (主观概率), 但在实际程序中工作记忆表征与视觉搜索目标匹配和与分心物匹配的概率皆设置为 25%, 结果发现只有工作记忆表征对搜索目标引导的“获益”量会随着主观概率的增加而增加, 而工作记忆表征对分心物引导的“损失”量并不随主观概率的增加而发生改变。Hernández, Costa 和 Humphreys (2010)也发现, 工作记忆表征对搜索目标引导的“获益”量会受到注意窗口(attentional window)大小的调节, 即在集中注意时的“获益”量显著大于弥散注意时的“获益”量, 但工作记忆表征对分心物引导的“损失”量并不会受到注意窗口大小的影响。本研究结果似乎表明工作记忆表征的抑制状态能传递

到视觉搜索过程中, 但对视觉搜索过程中注意的影响只限于对搜索目标的“获益”形成抑制, 而对搜索分心物的“损失”则没有影响。这也提示在 Olivers 等(2006)的研究中, 因为工作记忆表征只能与注意捕获任务中的单例分心物匹配, 所以即使 TBF 项目被抑制且抑制状态能传递到注意捕获任务阶段, 还是有可能观察不到注意抑制效应。

认知控制或抑制动机能否影响注意引导效应? 这是本研究主要关注的第二个问题。当采用更为高效率的视觉搜索任务之后, 研究结果发现, 无论是记住提示还是忘记提示, 无论是目标无关条件还是目标相关条件, 视觉搜索中与 TBR 项目匹配的刺激都能捕获更多的注意, 表现出稳健的注意引导效应, 这与以往大部分的研究结果是一致的(例如 Kumar et al., 2009; Mannan et al., 2010; Olivers et al., 2006; Pan, 2010; Pan et al., 2009; Soto et al., 2005, 2006, 2008; Soto & Humphreys, 2007; 白学军等, 2011; 张豹等, 2013, 2014), 表明在工作记忆中处于激活状态的工作记忆表征对视觉注意具有自上而下的引导作用。但这与 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)的研究结果不一致。虽然实验 1 与实验 2 与 Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)的实验一样, TBR 项目只可能与视觉搜索的分心物匹配, 且实验前通过指导语明确告诉被试“记忆阶段出现过的项目永远不会是搜索目标”, 但实验结果仍然没有发现注意会偏离与记忆项目匹配的分心物, 表现出与注意引导效应相反的注意抑制效应。造成不一致结果可以从以下两个方面进行解释: 一种可能的解释为两者视觉搜索任务效率的差异。如前言分析, Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)的研究中的视觉搜索任务比较难, 容易受到认知控制或抑制动机的调节, 因而被试在视觉搜索过程中可能会采用“注意拒绝”策略。而在实验 1 与实验 2 中, 视觉搜索任务是比较自动化的高效率搜索任务, 视觉搜索过程中较难受到认知控制等因素的影响(Wolfe, 2007)。两者视觉搜索效率的差异可以从搜索时间上反映出来, 实验 1 与实验 2 在控制条件下的反应时(实验 1: 708 ms, 实验 2: 721 ms)要显著小于 Woodman 和 Luck (2007) (实验 3: 1394 ms)和胡艳梅等(2013) (实验 1: 1322 ms)研究中控制条件下的反应时。视觉搜索任务效率对注意引导效应的影响可从 Han 和 Kim (2009)的研究结果中得到证实, 他们根据视觉搜索反应时的快慢对测试进行分类, 结果发现在视觉搜索快的测试中观察到了注意

引导效应,而在视觉搜索慢的测试中则观察到了注意抑制效应,这表明认知控制更容易在低效率的视觉搜索中起作用。另外,张豹等(2013)采用眼动技术发现在早期的首次注视点指标上能观察到注意引导效应,但在晚期的行为反应时指标上却未能观察到该效应,说明视觉搜索早期阶段产生的注意引导效应会在晚期阶段受到视觉搜索过程中的认知控制或策略等因素的影响,从而使注意引导效应被掩盖甚至发生反转。第二种可能解释为两者视觉搜索任务中同一搜索项目的重复性。Woodman 和 Luck (2007)及胡艳梅等(2013)发现注意抑制效应的实验有一个共同的特征是同一个分心物在视觉搜索序列中重复出现,这样的操作可能存在如下问题:在视觉搜索早期阶段注意被与工作记忆表征匹配的分心物自动捕获,但随后由于“拒绝模板”策略或“抑制动机”的作用,注意不会再次检测与之重复的分心物,由此导致视觉搜索加快。这一推论得到了作者另一项尚未发表的眼动数据的证实,研究发现当视觉搜索中在工作记忆表征匹配的分心物重复出现时,该分心物会捕获更多的首次注视点,但随后注意会回避与之重复的分心物,表明抑制可能是在工作记忆表征对注意的引导之后发生的。实验 1 与实验 2 的视觉搜索任务中分心物不重复出现,故只表现出注意的引导效应。

此外,本研究与以往没有观察到引导效应的实验结果(如 Downing & Dodds, 2004; Houtkamp & Roelfsema, 2006; Peters et al., 2009)具有一定的相似性,即当被抑制的工作记忆表征与视觉搜索分心物匹配时,都没有观察到任何注意引导效应或注意抑制效应。Peters 等(2009)和 Olivers 等(2011)将这一结果归因于“搜索目标”在视觉搜索任务中处于优势地位(即注意焦点),因而阻断了同处于工作记忆中的“记忆项目”对注意的引导。但本研究实验 4 结果却发现,当 TBF 项目与视觉搜索目标匹配时,忘记提示条件下发现了注意抑制效应。这表明本研究中 TBR 项目并不能完全阻断 TBF 项目对视觉注意的引导,工作记忆表征的抑制状态能传递到视觉搜索阶段,并且会抑制对与之匹配的搜索目标的反应。鉴于本研究在实验设计上对 Downing 和 Dodds (2004)、Houtkamp 和 Roelfsema (2006)及 Peters 等(2009)的实验中存在的一些问题进行了修正,例如在本研究(1)采用自动化程度较高的视觉搜索任务,有效地减少或排除了视觉搜索过程中认知策略或认知控制等因素的影响,因而更容易探测

到工作记忆表征对视觉注意的引导效应;(2)增加了目标相关性变量,设置 TBF 项目可能与视觉搜索目标匹配的情境;(3)TBF 项目在提示后不需要继续保持在工作记忆中以完成最后的记忆探测任务。所以本研究相对于 Downing 和 Dodds (2004)、Houtkamp 和 Roelfsema (2006)及 Peters 等(2009)的研究来说更能精确地探测工作记忆表征的抑制状态对视觉注意引导的影响。

7 结论

综上所述,本研究的结果表明(1)处于激活状态的工作记忆表征能有效地引导注意偏向到与之匹配的搜索目标与分心物,并且这种引导效应并未受到抑制动机的影响而消失或反转;(2)处于抑制状态的工作记忆表征能将抑制状态传递到视觉搜索阶段,并延迟对与之匹配的搜索目标的选择。

参 考 文 献

- Bai, X. J., Yin, S. S., Yang, H. B., Lv, 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.]
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, 137(2), 217–225.
- 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.
- Donaldson, D. I., Petersen, S. E., Ollinger, J. M., & Buckner, R. L. (2001). Dissociating state and item components of recognition memory using fMRI. *NeuroImage*, 13(1), 129–142.
- 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.
- Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1974). Selective attention: Noise suppression or signal enhancement? *Bulletin of the Psychonomic Society*, 4, 587–589.
- Griffin, I. C., & Nobre, A. C. (2003). Orienting attention to locations in internal representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(8), 1176–1194.
- 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.
- Hernández, M., Costa, A., & Humphreys, G. W. (2010). The size of an attentional window affects working memory guidance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(4), 963–972.
- 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.]
- 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.
- 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.
- Nee, D. E., & Jonides, J. (2008). Dissociable interference-control processes in perception and memory. *Psychological Science*, 19(5), 490–500.
- Oberauer, K., & Bialkova, S. (2009). Accessing information in working memory: Can the focus of attention grasp two elements at the same time? *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(1), 64–87.
- Olivers, C. N. L. (2008). Interactions between visual working memory and visual attention. *Frontiers in Bioscience*, 13, 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.
- 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 of Cognitive Science*, 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., 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.
- Pashler, H., & Shiu, L. P. (1999). Do images involuntarily trigger search? A test of Pillsbury's hypothesis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6(3), 445–448.
- 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., & 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., 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., & Heinke, D. (2006). Working memory can guide pop-out search. *Vision Research*, 46(6-7), 1010–1018.
- Washburn, D. A., & Astur, R. S. (1998). Nonverbal working memory of humans and monkeys: Rehearsal in the sketchpad? *Memory & Cognition*, 26(2), 277–286.
- Williams, M., & Woodman, G. F. (2012). Directed forgetting and directed remembering in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 38(5), 1206–1220.
- 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.
- Woodman, G. F., & Chun, M. M. (2006). The role of working memory and long-term memory in visual search. *Visual Cognition*, 14(4-8), 808–830.
- 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. (2012). Re-examining the role of working memory in visual search. *Advances in Psychological Science*, 20(2), 228–239.
- [张豹. (2012). 重新检视工作记忆在视觉搜索中的作用. *心理科学进展*, 20(2), 228–239.]
- Zhang, B., & Huang, S. (2013). Mechanisms underlying the attentional guidance from working memory representations. *Advances in Psychological Science*, 21(9), 1578–1584.
- [张豹, 黄赛. (2013). 工作记忆表征对视觉注意的引导机制. *心理科学进展*, 21(9), 1578–1584.]
- Zhang, B., Huang, S., & Hou, Q. X. (2014). The priority of color in working-memory-driven ocular capture. *Acta Psychologica Sinica*, 46(1), 17–26.
- [张豹, 黄赛, 侯秋霞. (2014). 工作记忆表征捕获眼动中的颜色优先性. *心理学报*, 46(1), 17–26.]
- 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., Jin, Z. C., & Chen, C. Q. (2008). Visual working memory modulates attentional orienting at preattention stage. *Acta Psychologica Sinica*, 40(5), 552–561.
- [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.]
- 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, M., & Zhang, Y. (2007). The relationship between working memory and selective attention. *Advances in*

Psychological Science, 15(1), 8–15.

[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.]

Attentional Guidance from Activated and Inhibitory States of Working Memory Representations

ZHANG Bao^{1,2}; SHAO Jiaying¹; HU Cenlou¹; Huang Sai¹

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

(² Laboratory of Cognition and Mental Health, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China)

Abstract

Attention and working memory are two of the core cognitive processes in the human's information processing system. Working memory and visual attention are intimately related, and the contents of working memory can be referred as "activated" representations severed as ongoing cognition and action. In the meantime, working memory representations currently within the focus of attention can guide attentional selection and behavioral execution. In recent decades, a mount of studies have shown that the activated representations in working memory could top-down capture attention, even if the representations were irrelevant to the task goals, which displayed a robust working memory-driven guidance effect. However, whether the inhibitory representations in working memory can also guide attention, is still a controversial issue? Here, in 4 experiments, the authors manipulated the states of working memory representations with the directed forgetting task, and attempted to explore the effect of activated and inhibitory states of working memory representations on working memory based attentional guidance respectively in task-irrelevant and task-relevant experimental situations.

The participants in present study were asked to firstly perform a directed forgetting task, then to search for a target of circle among the distractors of squares, and finally to perform a memory test. In the directed forgetting task, the remember cue in experiment 1 and 3, and the forget cue in experiment 2 and 4 were used to respectively indicate the participants to remember or forget one of two colored squares already stored in working memory. The to-be-remembered (TBR) item and to-be-forgotten (TBF) item in working memory would reappear in visual search task and might match color with one of distractors only in experiment 1 and 2 (i.e., task-irrelevant situation), and might match color with either the target or the distractor in experiment 3 and 4 (i.e., task-relevant situation).

In experiment 1 and 2, the results suggested that no matter what types of cues used in the directed forgetting task, when the distractor in visual search task matched color with TBR item, the TBR-matched distractor could capture more attention and slow down the visual search, displaying the attentional guidance effect. However, when the distractor matched the TBF item, neither attentional guidance effect nor attentional inhibition effect was observed. In experiment 3 and 4, the results for the TBR items showed that the visual search was accelerated under TBR-target matching condition and slowed down under TBR-distractor matching condition both in experiment 3 and 4, suggesting that the TBR item in working memory could guide attention biased to the TBR-matched items in visual search task. The results for the TBF items showed that when TBF item matched with distractor, there was no attentional guidance effect found both in experiment 3 and 4. When TBF item matched with target, the guidance effect was still not found in experiment 3. However, an attentional inhibitory effect which was opposed to the attentional guidance effect was observed in experiment 4, suggesting that the inhibitory state of the TBF item could postpone the response to the TBF-matched target.

In conclusion, these results indicated that (1) the activated working memory representation could effectively guide attention bias both to the search target and to the distractor in visual search which matched features with such representation, and these attentional guidance effect could not be eliminated or reversed by the inhibitory motivation; (2) the inhibitory working memory representation could transfer the inhibitory state to the visual search task and postpone the response to the search target which matched the features with such representation.

Key words states of working memory representations; attentional guidance; task-irrelevant; task-relevant; inhibition