

• 博士论坛(Doctor Forum) •

编者按:

在日常生活中,我们几乎时时刻刻都在进行视觉搜索工作。我们经常会有这样的体验,需要搜索的信息(目标)所处的周围环境(即干扰信息)会显著影响你的搜索效率。关于视觉搜索的已有认知神经科学研究主要关注的问题是,联合搜索是否相对于特征搜索存在特异性的神经基础,然而关于额顶区域在视觉搜索中的作用并没有得到一致的结论。魏萍博士的论文《任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性影响视觉搜索的神经机制》的创新之处在于,敏锐地发现了以往研究混淆结果的关键变量,首次系统地操纵了不同类型的搜索任务中任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性,并首次使用功能磁共振成像技术考察了这些同质性影响不同类型视觉搜索的神经机制。从目标模板匹配的角度解释额顶区域在视觉搜索中的作用,对于理解视觉搜索的神经基础供了新的视角和证据。该论文选题新颖,具有较高的创新性和理论价值,其部分相关结果已经发表在国际高水平杂志上,得到了国际同行的认可。

(本文责任编辑:郭春彦)

任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性 影响视觉搜索的神经机制*

魏萍^{1,2} 周晓林²

(¹首都师范大学心理系,北京市“学习与认知”重点实验室,北京 100048)(²北京大学心理学系,北京 100871)

摘要 在三个实验中,我们利用功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)技术考察了在简单特征搜索任务和客体内联合搜索任务中任务维度干扰项的同质性(或称一致性, homogeneity)和任务无关维度干扰信息的同质性对视觉搜索行为的影响及其神经机制。主要探讨了三个问题:(1)任务维度干扰信息的同质性与目标存在性之间交互作用的神经机制;(2)任务维度干扰信息的同质性与任务无关维度干扰信息的同质性之间的交互作用及其神经机制;(3)上述神经机制在不同类型的视觉搜索(特征搜索和联合搜索)中的异同。

关键词 特征搜索;联合搜索;选择性注意;任务维度;任务无关维度;功能磁共振成像

分类号 B842

1 引言

我们的视觉系统每时每刻都接受着大量的信息,但是并不是每个细节都与当前的任务有关。视觉搜索范式是研究视觉选择性注意的主要范式

之一,它体现了人们在复杂的视觉环境中寻找目标物所遵循的规律。被试在一个搜索画面中搜索特定的目标。如果指定的目标项在单一特征维度上区别于干扰项,则被称之为特征搜索。如果指定的目标项在两个特征的整合上区别于干扰项,则被称之为联合搜索。通常在视觉搜索任务中,在一半的试次中目标伴随干扰项出现(目标存在试次);在另一半试次中只有干扰项出现(目标不存在试次)。通过测量被试找到目标项的反应时间来考察搜索效率。已有一些研究使用认知神经科学

收稿日期:2011-05-02

* 国家自然科学基金(30770712, 31000502), 国家基础研究项目(973 项目:2010CB833904)。

通讯作者:魏萍, E-mail: weiping@mail.cnu.edu.cn

手段探讨视觉搜索的神经机制(例如, Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995; Coull, Walsh, Frith, & Nobre, 2003; Donner, Kettermann, Diesch, Ostendorf, Villringer, & Brandt, 2000, 2002; Leonards, Sunaert, Hecke, & Orban, 2000; Müller-Plath, 2008; Nobre, Coull, Walsh, & Frith, 2003; Sato, Watanabe, Thompson, & Schall, 2003; Weidner, Krümmenacher, Reimann, Müller, & Fink, 2009; Wilkinson, Halligan, Henson, & Dolan, 2002; Wojciulik & Kanwisher, 1999)。但是, 过去研究普遍忽略的问题是: 任务无关维度的干扰信息如何影响人类的搜索过程, 大脑在处理任务维度的干扰信息和任务无关维度干扰信息时是否存在不同的认知和神经基础。例如, 如果我们需要在街上寻找一幢圆柱形的大楼, 一方面, 街面上的大楼可能是各种形状的(在本文中定义为任务维度), 另一方面, 这些楼也可能是多种颜色的(在本文中定义为任务无关维度)。过去的研究普遍忽略了简单特征搜索任务或联合搜索任务中, 任务维度和任务无关维度信息的不同质性(heterogeneity)对任务维度搜索的影响及其相应的神经机制。我们针对视觉搜索中信息同质性及其功能进行了一系列的研究, 这些研究构成了本文第一作者完成的北京大学心理学系的博士论文的一部分。下面我们选择部分已经发表的工作, 介绍给各位读者。

1.1 视觉搜索的行为模型

早期研究者根据行为实验提出了视觉搜索的行为模型。Treisman 等人 (Treisman, 1982, 1991; Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Sato, 1990) 提出的特征整合理论(Feature Integration Theory, FIT)认为, 视觉加工可以区分为功能上独立且相继进行的两个阶段。在第一个阶段, 所有可分离的特征(如颜色、形状、大小等)被独立地、且平行地在整个视觉空间进行编码。不同特征维度在不同的特征地图中进行表征, 例如颜色维度的特征地图编码了某个颜色特征是否存在, 但是不提供该特征的位置信息。各个维度间的特征是彼此游离的(free-floating), 同一个客体的不同特征并没有彼此对应。在第二个阶段, 跨越维度的加工才开始进行。要提取和识别某个特异位置的具体客体信息, 需要把注意焦点(或注意探照灯)序列地投射到该位置。特征整合理论认为联合搜索相对于特征搜索具有特异的注意机制。在特征搜索中, 被试只需要报告某特征存在与否, 基于第一个阶

段的加工即可完成。而在联合搜索中, 被试需要报告由两个特征组合而成的某客体是否存在。第一阶段的加工无法回答某个特定的组合是否存在, 只有在第二个阶段的加工中, 被试通过将注意焦点逐个投射在主要位置地图(master map of location)的各个激活位置, 才能判定特定的特征组合是否存在。

早期研究(Treisman, 1982, 1992; Treisman & Gelade, 1980)发现, 联合搜索相对于特征搜索具有较大的搜索斜率, 这支持了特征整合理论。然而, 联合搜索和特征搜索的反应时并不总是存在严格的界限。Wolfe 等人(Wolfe, 1994; Cave & Wolfe, 1990)因此提出的导引搜索模型(Guided Search model)否认特征搜索和联合搜索的本质差异。该模型认为, 在视觉加工的初期阶段, 各个维度的特征分别储存在各自的显著性地图(saliency map)中, 该显著性地图不是存储各个特征维度的具体特征值, 而是表征该特征在多大程度上与其周围的特征不同。跟周围项目具有较小相似性的位置具有较高的激活信号。在视觉加工的第二阶段, 各个维度的显著性信息整合到主要地图(master map)上, 指引选择性注意投射到该位置并确认该位置是任务定势需要选择的信号还是无关的干扰刺激。此外, 注意投入理论(Attentional Engagement Theory, Duncan & Humphreys, 1989, 1992)也认为, 不存在特征搜索和联合搜索的简单二分法。目标项和干扰项之间的相似性, 以及干扰项彼此之间的相似性决定了搜索效率的高低。目标项和干扰项之间相似性越高, 搜索效率越低; 干扰项彼此之间相似性越高, 搜索效率越高。

虽然各个模型对于搜索过程使用的具体机制有不同的意见(Chelazzi, 1999; Chun & Marois, 2002; Reynolds & Desimone, 1999), 但是这些模型可以达成的共识是: 如果干扰项共享相同的特征, 他们可能在视觉加工的初级阶段就通过某些格式塔特征组合在一起。在这种情况下, 如果有奇异项存在, 破坏了整个搜索集的同质性(homogeneity), 对目标项的探测实际上是通过寻找一个特别的项目(odd man out)或奇异项(singleton)来完成。相反地, 如果干扰项彼此不共享特征, 或者即使他们共享一定的特征但是不能有效地组合起来, 被试则必须通过逐个搜索主要地图上较高的激活点来确定目标是否存在。

1.2 关于视觉搜索的认知神经发现

针对上述的行为模型,以往关于视觉搜索的神经机制层面的研究有两个重点:1)视觉搜索的一般神经机制是什么,完成视觉搜索任务需要哪些脑区的参与?2)联合搜索相对于特征搜索是否存在特异性的搜索机制,如果有,那么这个关键脑区在哪里?针对第一个问题,最近的功能磁共振研究以及脑损伤研究已经发现了一个广泛分布的神经网络,包括额叶眼区(Frontal Eye Field, FEF),顶间沟(Intraparietal Sulcus, IPS),颞顶联合区(Temporo-Parietal Junction, TPJ),以及顶枕联合(Junction of Intraparietal and Transverse Occipital Sulcus, IPTO)等参与到视觉搜索任务中(Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995; Coull, Walsh, Frith, & Nobre, 2003; Donner, Kettermann, Diesch, Ostendorf, Villringer, & Brandt, 2000, 2002; Leonards, Sunaert, Hecke, & Orban, 2000; Müller-Plath, 2008; Nobre, Coull, Walsh, & Frith, 2003; Sato, Watanabe, Thompson, & Schall, 2003; Weidner, Krummenacher, Reimann, Müller, & Fink, 2009; Wilkinson, Halligan, Henson, & Dolan, 2002; Wojciulik & Kanwisher, 1999)。

针对第二个问题,研究发现,负责空间注意转移的上顶叶区域在联合搜索中(相对于特征搜索)有显著活动(Ashbridge, Cowey, & Wade, 1999; Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995; Shafritz, Gore, & Marois, 2002; Behrmann, Geng, & Shomstein, 2004; but see Karnath, Ferber & Himmelbach, 2001; Ellison, Schindler, Pattison, & Milner, 2004)。根据上述行为模型,研究者认为,上顶叶区域在视觉搜索中的激活是由于注意不断地在各个空间位置转移并将该位置的各个特征整合起来,即内隐注意转移(covert attentional shift)和特征整合(feature binding)。但是,虽然上顶叶在联合搜索中存在较高的激活,却并不一定表明顶叶负责了联合搜索任务中空间注意转移和特征整合的作用。相对于特征搜索,联合搜索的任务难度增加,顶叶的激活可能是由于任务难度增加,需要增加更多的一般性注意投入造成的。联合搜索的难度增加主要表现在,目标项和一半的干扰项共享一种特征,和另一半干扰项共享另一种特征,这种相似性的增加往往在行为水平上造成反应时的延长(Duncan & Humphreys, 1989, 1992;

Humphreys, Quinlan, & Riddoch, 1989; Müller, Humphreys, & Donnelly, 1994),因此需要更多的注意投入和顶叶的参与。关于上顶叶在视觉搜索中的确切作用,并没有得到一致的结论。

2 研究问题与研究方案

2.1 问题提出

通过分析前人的研究我们发现,联合搜索相对于特征搜索在顶叶的激活没有得到一致解释主要有两个原因:一方面是由于顶叶在注意任务中功能的多样性(Nobre, Coull, Walsh, & Frith, 2003; Wojciulik & Kanwisher, 1999; Friedman-Hill, Robertson, Desimone, & Ungerleider, 2003),另一方面,不同研究者操纵特征搜索和联合搜索条件时使用的刺激不规范。

为何使用刺激不规范会对特征搜索和联合搜索的差异机制产生影响?首先,在典型的特征搜索中,目标项只在一个维度上区别于干扰项,并且所有的干扰项在任务无关维度上也保持一致,干扰项基于共同的特征组织在一起,使得目标项容易突显(pop-out)。已有行为研究表明,当干扰项在任务维度是同质的,找到目标刺激的反应时不随着搜索集的增大而增大;而当干扰项在任务维度是不同质的,对目标的反应时随搜索集增大而增大(Duncan & Humphreys, 1989, 1992; Müller, Heller, & Ziegler, 1995; Treisman, 1988; Wolfe, Friedman-Hill, Stewart, & O'Connell, 1992)。虽然行为研究(例如, Duncan & Humphreys, 1989, 1992; Müller, Humphreys, & Donnelly, 1994; Treisman, 1988)普遍发现,相对于被试在同一种干扰项中搜索目标项的条件,被试在多种干扰项中搜索目标项时的反应时显著延长。目前为止,只有一篇功能磁共振成像研究关注了干扰项非同一性对客体内联合搜索的神经机制的影响(Wilkinson, Halligan, Henson, & Dolan, 2002)。

其次,任务无关维度的变化也会影响视觉搜索的反应时(Theeuwes, 1991, 1992; Wei, Lü, Müller, & Zhou, 2008; Wei & Zhou, 2006)。例如,Wei和Zhou(2006)使用知觉负载任务范式(Lavie, 1995, 2005; Lavie & Tsai, 1994)发现,被试能否将注意资源集中在任务维度取决于任务维度和任务无关维度的相对知觉显著性。如果任务维度为颜色而任务无关维度为字母形状,则对任务维度的

注意资源分配不受任务无关维度的影响;相反,如果任务维度为字母形状而任务无关维度为颜色,则此时任务无关维度的变化影响对任务维度的加工。在过去关于视觉搜索的认知神经科学研究中,任务无关特征或者是随机变化的(Shafritz, Gore, & Marois, 2002; Donner, Kettermann, Diesch, Ostendorf, Villringer, & Brandt, 2000, 2002; Leonards, Sunaert, Hecke, & Orban, 2000; Wojciulik & Kanwisher, 1999),或者是保持恒定的(Coull, Walsh, Frith, & Nobre, 2003; Nobre, Coull, Walsh, & Frith, 2003; Ellison, Schindler, Pattison, & Milner, 2004)。这些研究的目的是通常是为了将特征搜索中的干扰项组成和联合搜索中的干扰项组成进行匹配,防止搜索集本身物理刺激不同造成的脑激活差异。但是,如上所述,如果任务无关维度的变化影响行为反应时,则也有可能影响其相应的神经机制。需要处理多维度的信息引起了额顶区域在特征搜索中也有活动,则容易得出联合搜索和特征搜索共用同样的神经机制的结论。

因此,本研究采用行为实验和磁共振功能成像方法,系统探讨多维度背景下任务无关维度和任务维度干扰信息的同质性对特征搜索和联合搜索的影响,从一个新的视角关注顶叶在视觉搜索中的作用。

2.2 研究方案

实验1的目的是检验在简单特征搜索任务中,干扰项的同质性与目标存在性之间的交互作用及其神经机制。我们使用2(干扰项在任务维度上的同质性:同质/不同质) \times 2(目标存在性:存在/不存在)的快速事件相关fMRI设计。被试搜索的目标项是竖直的朝向;干扰项的朝向可能彼此一致(同质条件),可能彼此不一致(不同质条件)。目标项在一半的试次中出现,在另一半试次中不出现。试次刺激呈现举例如图1所示。

实验2和实验3的目的是分别考察在简单特征搜索任务中和客体内联合搜索任务(Duncan, 1987)中,任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性对搜索效率的影响以及神经机制。实验2使用简单特征搜索任务,实验3使用客体内联合搜索任务(Duncan, 1987)。两个实验均采用2(任务无关维度干扰信息的同质性:同质/不同质) \times 2(任务维度干扰项的同质性:同质/不同质) \times 2(目标存在性:存在/不存在)的被试内快速事件相关设

计。在实验2中,目标项是竖直朝向(特征搜索),干扰项的朝向(任务维度)可能彼此一致,可能彼此不一致;在实验3中,目标项是正向的T,干扰项(任务维度)可能是朝向彼此一致的T或L(同质条件)或彼此不一致的T和L的混合(不同质条件)。在实验2和3中,任务无关维度均为颜色维度:所有项目的颜色可能彼此一致,可能彼此不一致。目标项在一半的试次中出现,在另一半的试次中不出现。试次内刺激呈现顺序与实验1相同,搜索集示例如图2所示。

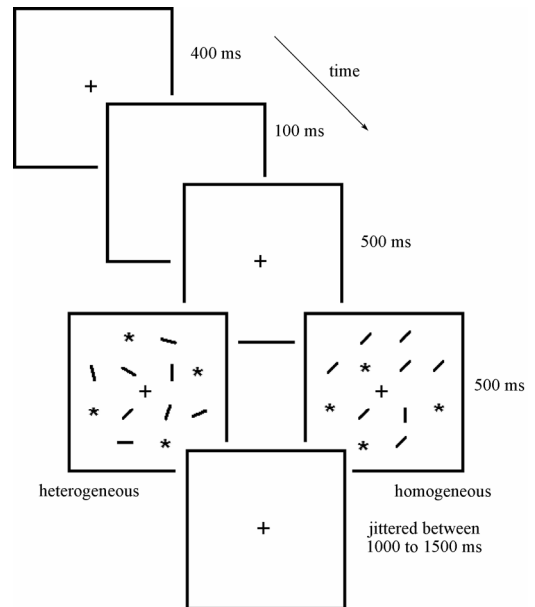


图1 实验1实验程序和搜索集示意材料。图中搜索集分别为干扰项不同质条件和干扰项同质条件的目标存在试次。如果是目标不存在试次,目标项被相应干扰项替代。星号表示目标或干扰项可能出现的其他位置(在实际实验中星号不呈现)。

3 研究结果

3.1 实验1

实验1的行为结果发现,干扰项同质性和目标存在性的主效应均显著:干扰项不同质条件下被试的反应时长于干扰项同质条件下的反应时,目标不存在时的反应时长于目标存在时的反应时。重要的是,干扰项同质性与目标存在性存在显著的交互作用。当干扰项的朝向不同质时,被试在目标不存在条件的反应时长于在目标存在条件的反

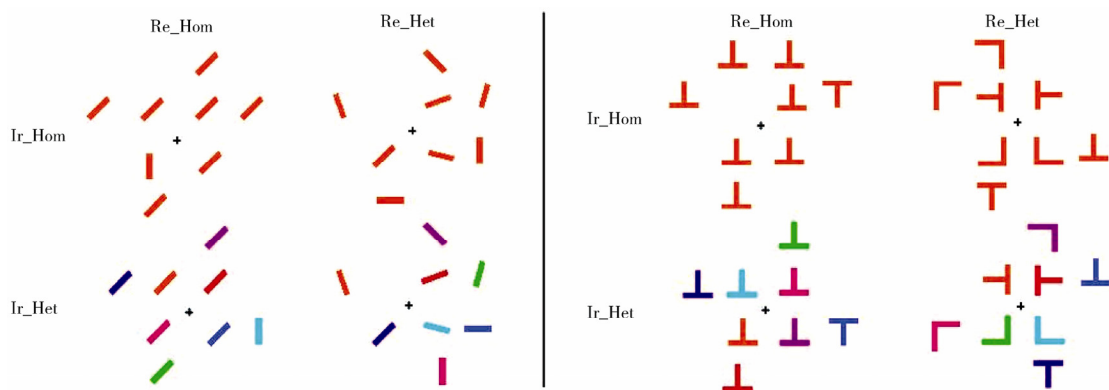


图 2 实验 2 和实验 3 的搜索集示例。其中左半部分为实验 2 刺激组合, 右半部分为实验 3 刺激组合。Re_Hom 代表任务相关维度为同质, Re_Het 代表任务相关维度为不同质, Ir_Hom 代表任务无关维度为彼此同质, Ir_Het 代表任务无关维度为彼此不同质。注意在上图中, 无论在实验 2 或实验 3, 下半部分为任务无关维度不同质条件(即 Ir_Het), 在实际实验呈现中, 各个搜索项目均为彩色且颜色彼此不一致。上半部分为无关维度同质条件(即 Ir_Hom), 在实际实验呈现中, 各个项目也是彩色的但彼此颜色一致。任务无关维度颜色不同质条件下出现的颜色有同等几率同质地呈现在任务无关维度颜色同质条件下。

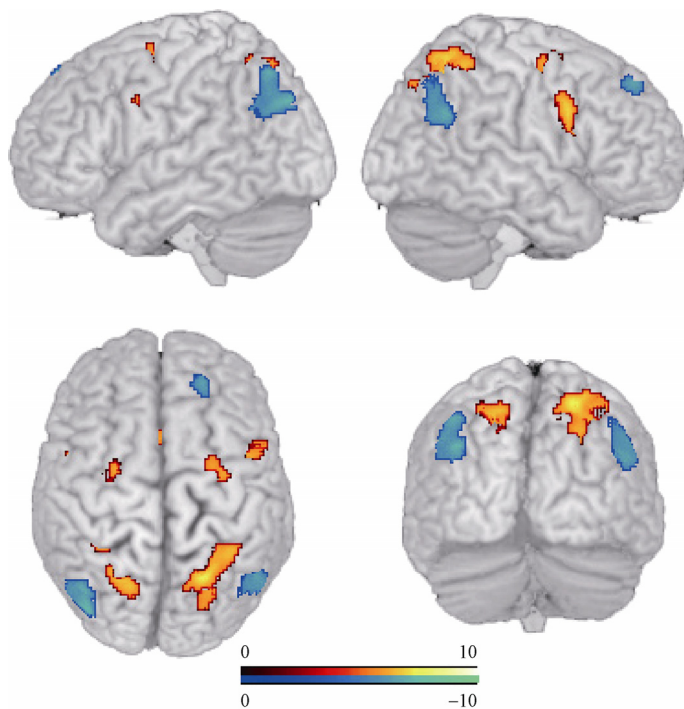


图 3 实验 1 中目标存在性与干扰项同质性交互作用激活图。激活域值为 FWE 矫正, $p < 0.05$ 。

详细结果见 Wei, Müller, Pollmann, & Zhou (2009)。

应时; 而当干扰项的朝向同质时, 被试在目标不存在条件的反应时短于在目标存在条件的反应时。

功能磁共振成像结果发现, 相对于干扰项同质条件, 双侧上部和下部额叶眼区、辅助运动眼

区、顶间沟、顶枕联合、以及前脑岛区域在干扰项不同质时显著激活。干扰项同质性与目标存在性的交互作用在大脑中表现出两组激活模式不同的脑区(见图3)。第一组脑区包括双侧上部和下部额叶眼区、顶间沟和辅助眼区, 这些区域显示了正的参数估计值。与行为结果模式不同的是, 这些区域在干扰项不同质时的目标存在试次和目标不存在试次, 以及干扰项同质时的目标存在试次有相同程度的激活, 在干扰项同质时的目标不存在试次有较低的激活。第二组脑区包括双侧颞顶联合区和右侧上额回, 这三个区域显示了负的参数估计值。当干扰项不同质时, 目标不存在试次比目标存在试次有更强的负向激活; 而当干扰项同质时, 目标存在试次比目标不存在试次有更强的负向激活(具体感兴趣区域分析结果, 见 Wei, Müller, Pollmann, & Zhou, 2009)。

3.2 实验2和实验3

实验2和实验3的行为结果均发现, 任务维度或任务无关维度干扰信息不同质均会造成被试反应时的延长; 任务维度干扰项同质性与目标存在性存在交互作用, 表现出与实验1类似的模式; 任务维度干扰信息同质性与任务无关维度干扰信息同质性存在交互作用: 当任务维度干扰项不同质时, 任务无关维度的同质性变化不影响搜索反应时, 当任务维度干扰项同质时, 任务无关维度干扰信息不同质会延长搜索反应时。

功能磁共振成像结果发现, 相对于同质条件, 任务无关(颜色)维度干扰信息不同质在实验2和3中均激活了梭状回颜色加工区部分区域, 任务维度的不同质在实验2和3中共同激活了双侧额叶眼区、左侧顶间沟和左侧顶枕联合, 与实验1的结果类似。反之, 相对于不同质条件, 任务维度的同质性在实验2和3中共同激活了双侧颞顶联合区。任务维度干扰信息同质性与任务无关维度干扰信息同质性的交互作用在实验3中表现为双侧额叶眼区、双侧顶间沟、以及左侧的前脑岛的激活, 但在实验2中则没有任何表现。另外, 相对于目标不存在试次, 实验2和3均发现左侧顶下小叶在目标存在试次中激活较为强烈, 提示该区域负责对知觉信息与相应的反应信息进行整合。反之, 相对于目标存在试次, 实验3发现双侧下部额叶联合和辅助运动区在目标不存在试次中激活较强, 提示这些区域负责在目标未找到时

进行进一步的注意投入和细节搜索。

4 总体讨论

在当前的三个功能磁共振实验中, 相对于任务维度具有彼此一致的干扰项, 当任务维度的干扰项彼此不一致时, 均激活了双侧额叶眼区(包括上部和下部), 双侧顶间沟和辅助眼区等额顶区域, 表明这些区域参与视觉搜索过程中过滤任务维度的干扰信息并进行目标模板匹配(Wei, Müller, Pollmann, & Zhou, 2009)。

相对于搜索集具有一致的干扰项, 当干扰项彼此不一致时, 额顶区域参与注意选择的过程有以下两种原因。第一, 当干扰项彼此不一致时, 其中的某些干扰项更有可能与目标项类似, 从而错误地(false alarm)激活目标的表征(见 SEarch via Recursive Rejection, SERR 模型, Müller & Humphreys, 1993), 需要这些额顶区域区分目标项和可能的高相似性干扰项。单细胞记录研究(Bichot & Schall, 1999)表明, 额叶眼区负责表征视觉搜索中目标项和干扰项的相似性。干扰项和目标项越相近, 额叶眼区的放电越高。此外, 如果一个干扰项和目标项很相近, 拒绝这个干扰项需要更长的时间, 也会引起额叶眼区更高的反应(Sato, Watanabe, Thompson, & Schall, 2003)。第二, 相对于干扰项彼此一致时, 干扰项彼此不一致时, 单个干扰项具有相对较高的显著性值(saliency value)。显著性值的操作性定义为, 在一个搜索集中, 某个项目与其周围的项目在多大程度上不同。一个项目与周围的项目越不同, 则它的显著性值越高。当干扰项彼此一致时, 目标项由于与周围的干扰项都不同, 具有较高的显著性值。而其中一个干扰项, 除了与目标项不同, 与其周围的干扰项均相同, 显著值相对较低。而当干扰项彼此不一致时, 每个干扰项与周围的干扰项或目标项均不同, 具有相对较高的显著性值。在这种情况下, 额顶区域在匹配目标项时, 需要排除具有较高显著性值的干扰项, 也显示为目标选择和目标匹配的难度增加。

此外, 实验2和实验3均发现任务维度与任务无关维度干扰信息同质性的交互作用。来自无关维度的信息影响基于任务维度的搜索, 符合基于客体的注意理论(Duncan, 1984; O'Craven, Downing, & Kanwisher, 1999; see Scholl, 2001 for

a review)。注意的选择可以基于前注意阶段形成的客体单元。对该客体单元的关注导致该客体各个维度的信息均得到加工(Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992; but see Allport, 1993, and Maruff, Danckert, Camplin, & Currie, 1999)。我们在任务无关维度的主效应发现了与颜色加工有关的梭状回激活符合这一观点。无关维度的变化在特征搜索任务和联合搜索任务中的区别表现在于, 额顶区域的激活水平只有在联合搜索任务中才受到无关维度干扰信息的调节。双侧顶间沟, 双侧上部额叶眼区, 以及左侧下部额叶眼区和左侧前脑岛在联合搜索中参与了任务维度与任务无关维度干扰项同质性的交互作用, 但是在特征搜索中没有任何脑区在同样的比较中达到激活水平。

一方面, 无论是在特征搜索还是在联合搜索中, 这些区域在任务维度的主效应(不一致 vs. 一致)中显著激活, 说明他们可以共同参与到这两种搜索任务中过滤任务维度的无关干扰信息, 负责目标选择和目标匹配。另一方面, 这些区域的活动只在联合搜索中才受到任务无关维度干扰信息的调节, 而在特征搜索中不受影响。说明额顶区域在特征搜索或联合搜索中对任务无关维度的加工存在差异。我们推测, 在多大程度上额顶区域需要在目标搜索和目标选择过程中受到任务无关维度干扰信息的调节取决于自上而下的搜索定势。在特征搜索中, 被试的搜索定势是基于某个特征维度的, 例如在当前的实验中是基于朝向维度的。在搜索定势中, 颜色信息作为另一个维度的干扰信息, 是任务无关的。而在联合搜索中, 被试的搜索定势是基于两个特征的组合, 在当前的实验中是搜索一个横向的朝向和竖向的朝向特定的组合(正向的 T)。颜色特征虽然仍然是来自另一个维度的信息, 但是可能在被试进行朝向特征的“组合”时, 会把同一客体来自各个维度的特征均进行整合。从而颜色特征在联合搜索中, 由于已经与其它特征绑定, 则会在行为水平上和额顶区域的激活水平上均会造成影响(Wei, Müller, Pollmann, & Zhou, 2011; Xu, 2010)。另外, 需要注意的是, 额顶区域在联合搜索各个条件下激活水平的差异不能归结为任务难度造成的。实验 2 和实验 3 均操纵了任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性, 两组被试在特征搜索和联合搜索的对应条件下具有相当的反应时。然而, 这些额顶

区域只在联合搜索中显示出两个维度的交互作用, 而在几乎同样难度的特征搜索中没有显示该效应, 说明额顶区域是否受到任务无关维度干扰信息的调节是取决于搜索定势的。

最后, 关于视觉搜索的已有认知神经科学研究主要关注联合搜索是否存在特异性的神经基础, 没有系统地变化视觉搜索集中任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性, 已有的结果也不能说明额顶区域在不同类型的搜索任务中的激活水平如何受到来自任务维度或任务无关维度干扰信息同质性的调节。本研究首次报告了任务维度和任务无关维度干扰信息的同质性影响视觉搜索的神经机制, 从目标模板匹配的角度解释额顶区域在视觉搜索中的作用。

参考文献

- Allport, A. (1993). Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years, In D.E. Meyer, S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV*, (p.183-218). Cambridge, MA: MIT press.
- Ashbridge, E., Cowey, A., & Wade, D. (1999). Does parietal cortex contribute to feature binding? *Neuropsychologia*, 37, 999-1004.
- Behrmann M., Geng J., & Shomstein S. (2004). Parietal cortex and attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 212-217.
- Bichot, N. P., & Schall, J. D. (1999). Effects of similarity and history on neural mechanisms of visual selection. *Nature Neuroscience*, 2, 549-554.
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, 225-271.
- Chelazzi, L. (1999). Serial attention mechanisms in visual search: A critical look at the evidence. *Psychological Research - Psychologische Forschung*, 62, 195-219.
- Chun, M. M., & Marois, R. (2002). The dark side of visual attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 184-189.
- Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802-805.
- Coull, J. T., Walsh, V., Frith, C. D., & Nobre, A. C. (2003). Distinct neural substrates for visual search amongst spatial versus temporal distractors. *Cognitive Brain Research*, 17, 368-379.
- Donner, T., Kettermann, A., Diesch, E., Ostendorf, F., Villringer, A., & Brandt, S. A. (2000). Involvement of the

- human frontal eye field and multiple parietal areas in covert visual selection during conjunction search. *European Journal of Neuroscience*, 12(9), 3407-3414.
- Donner, T. H., Kettermann, A., Diesch, E., Ostendorf, F., Villringer, A., & Brandt, S. A. (2002). Visual feature and conjunction searches of equal difficulty engage only partially overlapping frontoparietal networks. *NeuroImage*, 15(1), 16-25.
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 501-517.
- Duncan, J. (1987). Attention and reading: Wholes and parts in shape recognition. A tutorial review., In M. Coltheart (Ed.), *Attention and Performance XII: The Psychology of Reading* (pp. 39-61). London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual-search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1992). Beyond the search surface: visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 578-588.
- Ellison, A., Schindler, I., Pattison, L., & Milner, A. D. (2004). An exploration of the role of the superior temporal gyrus in visual search and spatial perception using TMS. *Brain*, 127, 2307-2315.
- Friedman-Hill, S. R., Robertson, L. C., Desimone, R., & Ungerleider, L. G. (2003). Posterior parietal cortex and the filtering of distractors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(7), 4263-4268.
- Humphreys, G. W., Quinlan, P. T., & Riddoch, M. J. (1989). Grouping processes in visual search: Effects with single-and combined-feature targets. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 258-279.
- Kahneman, D., Treisman, A. M. & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object - specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24, 175-219.
- Karnath, H. O., Ferber, S., & Himmelbach, M. (2001). Spatial awareness is a function of the temporal not the posterior parietal lobe. *Nature*, 411, 950-953.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology*, 21, 451-468.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 75-82.
- Lavie, N. & Tsai, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics*, 56, 183-197.
- Leonards, U., Sunaert, S., Hecke, P. V., & Orban, G. A. (2000). Attention mechanisms in visual search - An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 61-75.
- Maruff, P., Danckert, J., Camplin, G. & Currie, J. (1999). Behavioral goals constrain the selection of visual information. *Psychological Science*, 10, 522-525.
- Müller, H. J., Heller, D. & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Perception & Psychophysics*, 57, 1-17.
- Müller, H. J., & Humphreys, G. W. (1993). A connectionist model of visual search for simple form conjunctions. In D. Brogan, A. Gale, & K. Carr (Eds.), *Visual Search 2*. London: Taylor and Francis (pp. 61-71).
- Müller, H. J., Humphreys, G. W., & Donnelly, N. (1994). SEArch via Recursive Rejection (SERR): Visual search for single and dual form-conjunction targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 235-258.
- Müller-Plath, G. (2008). Localizing subprocesses of visual search by correlating local brain activation in fMRI with response time model parameters. *Journal of Neuroscience Methods*, 171, 316-330.
- Nobre, A. C., Coull, J. T., Walsh, V., & Frith, C. D. (2003). Brain activations during visual search: Contributions of search efficiency versus feature binding. *NeuroImage*, 18, 91-103.
- O'Craven, K. M., Downing, P., & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, 401, 584-587.
- Reynolds, J. H., & Desimone, R. (1999). The role of neural mechanisms of attention in solving the binding problem. *Neuron*, 24, 19-29.
- Sato, T. R., Watanabe, K., Thompson, K. G., & Schall, J. D. (2003). Effect of target-distractor similarity on FEF visual selection in the absence of the target. *Experimental Brain Research*, 151, 356-363.
- Scholl, B. J. (2001). Objects and attention: the state of the art. *Cognition*, 80, 1-46.
- Shafritz, K. M., Gore, J. C., & Marois, R. (2002). The role of the parietal cortex in visual feature binding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(16), 10917-10922.
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50, 184-193.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51, 599-606.
- Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for features and for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 194-214.
- Treisman, A. (1988). Features and objects: The fourteenth

- Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40A, 201–237.
- Treisman, A. (1991). Search, similarity, and integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 652–676.
- Treisman, A. (1992). Spreading suppression or feature integration? A reply to Duncan and Humphreys (1992). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 589–593.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97–136.
- Treisman, A. & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 459–478.
- Wei, P., & Zhou, X. (2006). Processing multidimensional objects under different perceptual loads: The priority of bottom-up perceptual saliency. *Brain Research*, 1114, 113–124.
- Wei, P., Lü, J., Müller, H. J., & Zhou, X. (2008). Searching for two feature singletons in the visual scene: The localized attentional interference effect. *Experimental Brain Research*, 185, 175–188.
- Wei, P., Müller, H. J., Pollmann, S., Zhou, X. (2009). Neural basis of interaction between target presence and display homogeneity in visual search: An fMRI study. *NeuroImage*, 45(3), 993–1001.
- Wei, P., Müller, H. J., Pollmann, S., Zhou, X. (2011). Neural correlates of binding features within- or cross-dimensions in visual conjunction search: An fMRI study. *NeuroImage*, in press.
- Weidner, R., Krummenacher, J., Reimann, B., Müller H. J., & Fink, G. R. (2009). Sources of Top-Down Control in Visual Search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 2100–2113.
- Wilkinson, D. T., Halligan, P. W., Henson, R. N. A., & Dolan, R. J. (2002). The effects of interdistracter similarity on search processes in superior parietal cortex. *NeuroImage*, 15, 611–619.
- Wojciulik, E., & Kanwisher, N. (1999). The generality of parietal involvement in visual attention. *Neuron*, 23(4), 747–764.
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202–238.
- Wolfe, J. M., Friedman-Hill, S. R., Stewart, M. I., & O'Connell, K. M. (1992). The role of categorization in visual search for orientation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 34–49.
- Xu, Y. (2010). The neural fate of task-irrelevant features in object-based Processing. *Journal of Neuroscience*, 30(42), 14020–14028.

The Brain Mechanisms for Processing Heterogeneous Distracting Information Along Task-Relevant and -Irrelevant Dimensions in Visual Search

WEI Ping^{1,2}; ZHOU Xiao-Lin²

¹ Beijing Key Laboratory of Learning and Cognition and Department of Psychology, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

² Center for Brain and Cognition Sciences and Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Three functional magnetic resonance imaging (fMRI) experiments were conducted to investigate three issues regarding the impacts of heterogeneity along the task-relevant and the task-irrelevant dimensions upon the efficiency in visual search. The first concerns the neural basis of the interaction between target-presence and the homogeneity along the task-relevant dimension. The second is about the behavioral consequences and the neural correlates of processing heterogeneous distracting information along task-relevant and -irrelevant dimensions. The third is about the common and specific brain mechanisms underlying the interactions between target-presence and the homogeneity along task-relevant and -irrelevant dimensions in feature search vs. conjunction search.

Key words: visual search, feature search, conjunction search, selective attention, task-relevant dimension, task-irrelevant dimension, fMRI