

基于参数表征的数量空间关系加工*

游旭群^{1,2} 李晶^{1,2}

(¹ 陕西师范大学心理学院, 西安 710062) (² 陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 西安 710062)

摘要 空间关系的理解是概念表征向知觉表征的转化, 而空间关系的表达则是知觉表征向概念表征的转化。两种表征的转化以参照系为中介。视觉数量空间关系加工属于知觉表征向概念表征转化的空间关系表达过程。本研究通过控制方向、朝向及距离在启动与探测中的匹配关系, 采用三个实验探讨了数量空间关系加工中参照系各参数的表征及其相互作用。结果发现: (1) 数量空间关系加工中存在方向表征, 一定任务情境下存在朝向表征。(2) 距离匹配的促进效果只在启动刺激和探测刺激的方位关系处于参照系同轴时发生。这些结果进而说明, 数量空间关系加工中内隐地包含类别空间关系表征, 一定任务情境下, 可能存在垂直/水平的类别空间关系表征; 数量空间关系加工中的距离是联系于参照系轴的表征。

关键词 数量空间关系; 知觉表征; 参照系; 距离; 方向; 朝向

分类号 B842

1 引言

我们对周围世界的视觉加工关键依赖于对场景中客体间与客体内空间关系的分析, 这种空间关系的分析使我们可以复杂的环境中辨认客体、引导行为以及进行空间巡航。Kosslyn 等(1990, 1994, 2006)融合功能系统理论和计算理论的思想提出了“高级视觉空间认知加工子系统理论”, 类别空间关系与数量空间关系(categorical and coordinate spatial relations)加工(下文分别简称为类别加工和数量加工)作为该理论中的两个加工子系统而被提出。数量空间关系说明客体或客体部分间精确的空间定位, 给予精确的距离估计。类别空间关系形成一般的、抽象的编码, 捕捉视觉世界基本的关系和不变的空间信息。该理论认为视觉分析的关键在于对这两种空间关系的加工, 而大脑的左、右两半球分别是类别加工和数量加工的优势半球。Kosslyn 所提出的类别与数量加工间的分离在很大程度上得到了认可(Postma & Laeng, 2006), 但自该理论提出至今也一直不乏反对的研究例证。在对脑损伤病

人的研究中, 针对单侧局灶性脑损伤病人的研究支持该理论(Laeng, 1994), 而对大脑结合处切除(commisurotomized)病人的研究则不支持该假设(Sergent, 1991a, 1991b)。van der Lubbe 等(2006)使用 S1-S2 点线任务匹配研究范式(即判断 S2 在数量或类别关系上是否与 S1 匹配)和视半域技术(基于对大脑半球对侧控制的认知, 将刺激迅速呈现于左或者右侧视野, 使得对侧大脑半球优先加工刺激信息, 从而获得大脑半球信息加工数据的方法)对两种空间关系的加工进行了 ERP 研究, 其结果不支持两种空间关系加工相分离的假设。Jager 和 Postma (2003) 通过行为、脑损伤病人及认知神经等方面的研究对知觉、记忆和表象等条件下的两种空间关系加工做了很好的总结, 他们认为, 对分离的研究受到许多方法学因素的影响, 如刺激呈现特征、呈现时间、任务难度和它的任务属性等, 因此, 分离的研究结论是不稳定的。

以上主要列举了一些证明两种空间关系加工相分离的研究。但也有研究者从类别与数量两种加工间的联系出发来探讨二者间的关系。Martin 等

收稿日期: 2009-07-19

* 国家自然科学基金委员会与中国民用航空局联合资助项目(61079004)、国家社会科学基金项目“十一五”规划教育学项目(BBA070016)。

通讯作者: 游旭群, E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn; 李晶, E-mail: lzhlijing@163.com

(2008)使用 event-related fMRI 技术, 通过 grid/no grid 视觉空间工作记忆范式控制任务难度, 分析了两种空间关系加工间的联系与一致性(continuity), 结果表明基于同样的额顶枕神经网络时, 数量加工比类别加工更多地依赖于注意与执行加工, 产生右半球优势。研究者认为该优势是注意与执行加工参与反应的结果, 并进一步认为以任务为导向, 类别与数量空间关系加工实质上统一于一个更总体的目的加工, 依赖于同一个由该目的加工决定的神经网络。该研究为探讨两种空间关系间的联系提供了认知神经研究例证, 但总体上关于两种空间关系间联系的研究却较少。Sergent (1991a) 的研究发现, 两种空间关系各自的表征会受到另一类型关系信息的影响, 并认为, 如果二者是绝对分离的, 则一种类型关系的信息不会影响另一种类型关系的加工。由此, Sergent 进而推测, 两种空间关系加工的表征中可能既包含数量关系又包含类别关系。但该推测没有得到进一步的验证。Sergent 在其论文引言部分还分析认为, “一个数量表征暗含一个参照系, 其轴不仅说明客体间距离, 或者一个客体的部分之间距离, 而且说明了客体在空间中的位置(绝对和相对位置), 所以不可能实现两种空间关系的绝对分离”, 但之后并没有对其所提出的数量关系表征中的参照系进行更多的研究。Niebauer (2001)的研究在数量加工任务之前安排一个类别信息作为启动刺激, 结果加速了数量任务加工, 而类别加工之前的数量信息没有使类别加工加速。研究者由此推论认为类别加工可能是数量加工的初始阶段。国内晏碧华等人(2008)研究亦发现了类似结果。这些研究证明了类别关系信息对数量关系加工的影响, 但并没有直接证明一种关系加工任务的表征中是否包含了两种空间关系。

综上, 类别与数量加工相分离的研究结论并不稳定, 这为探讨二者间的联系提供了空间。但关于二者间联系的研究较少, 仅囿于两种加工间能否彼此影响的层面(Sergent, 1991a; Niebauer, 2001; 晏碧华等, 2008), 而并未就一种空间关系加工是否内隐地包含另一种空间关系做深入探讨。而且, 在研究方法上, 上述研究往往需被试先后完成两种空间关系判断任务, 以任务的分离代表加工的分离。但是, 任务的分离有可能仅是任务外部形式上或内部心理操作策略上的分离, 而并非内在加工过程的分离。而且两种任务间不可避免地存在相互的作用与干扰, 以及任务难度不对等等因素的影响, 从而影

响对两种空间关系加工间本质关系的探讨。

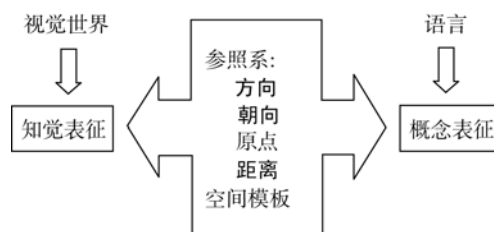


图1 知觉表征和概念表征间的转化以参照系为中介

Kosslyn 提出的类别与数量空间关系加工主要是针对空间关系的知觉编码而言。但是空间关系不仅为视觉分析所要求而形成知觉表征, 因为交流的需要还会形成空间关系的概念表征。对此 Logan 与 Sadler (1996) 提出理解空间关系的计算框架理论, 该理论认为, 客体及其表面构成的知觉表征(perceptual representation)和空间术语组成的概念表征(conceptual representation)是理解空间关系必不可少的两种表征。知觉表征包含了客体间空间关系识别的信息, 但这些信息是内隐的, 概念表征识别了客体的空间关系, 比如区分了“上”和“下”等。空间关系的理解是概念表征转化为知觉表征的过程, 而空间关系的表达则是知觉表征转化为概念表征的过程。例如, 甲问乙: “钥匙在哪里?”, 乙指着钥匙回答说: “钥匙在桌子上。”这个过程中, 甲根据乙的语言对钥匙和桌子间空间关系的理解, 是概念表征转化为知觉表征的过程。而乙对钥匙和桌子间空间关系的表达是知觉表征转化为概念表征的过程。因此, 空间关系的理解是一个自上而下的加工过程, 空间关系的表达是一个自下而上的加工过程。借鉴该理论, 类别和数量两种视觉空间关系的加工是一个自下而上的空间关系表达过程。更重要的是, 该理论提出空间关系的概念表征和知觉表征间的转化以参照系为中介(见图1, 图中重点突出了本研究所探讨的方向、朝向与距离参数)(Logan, Sadler, 1996; Levinson, 2003; 牟炜民等, 2000)。参照系(reference frame)是定义了原点、朝向、方向以及距离等参数的三维坐标系。原点(origin)是三个轴的交点, 相应于场景中参照系被分配的那个位置, 在很多实验中, 原点就在参照客体上。参照系的轴对应于既定的朝向(orientation), 将空间划分为垂直的(上/下)和水平的(左/右, 前/后)领域, 其终点(endpoint)分配到特定的轴上(例如左、右终点在左/右轴上), 定义那个朝向上的方向。距离(distance/scale)参数则对应于参照客体和目标客体间的空间

(Levinson, 1996)。参照系具有很大的灵活性, 它的各参数可以根据加工情境自由调整设定。对于参照系的参数表征或设定, 诸多涉及空间关系理解的研究做了深入探讨。但是, 对于空间关系表达中类别与数量加工的参照系参数表征或设定, 还未展开具体研究。下面就一些涉及空间关系理解的参照系参数表征研究做一陈述和分析。

对空间关系理解中参数表征的了解主要来自一些对空间术语加工的研究。Logan 和 Sadler (1996) 认为, 在既定的参照系中不同空间术语加工表征或设定的参数不同。例如, 术语“near”和“far”的加工表征了距离和原点, 但是没有表征朝向和方向。术语“above”和“below”的加工表征了原点、朝向和方向, 但是没有表征距离。Logan 和 Compton (1996) 的研究结果表明, 定位客体 and 参照客体间的距离变化不影响对描述两客体间相对位置关系 (above/below) 的句子的反应时间。该研究佐证了空间术语“above”和“below”的理解过程不表征距离的观点。然而, Carlson 和 Van Deman (2004) 认为, 在对空间术语进行加工的过程中, 不仅要编码术语明显说明的信息, 还可能要编码术语没有明显说明的信息。其研究运用内隐测量启动研究范式, 控制启动和探测刺激中字母间距离的匹配关系, 用句图转换任务确认字母间的相对位置关系。即先呈现一个使用了“above”或“left”等空间方位术语来描述两字母间方位关系的句子, 再呈现一张包含了两个字母的图片, 要求被试判断句子所描述的两字母的方位关系是否和图片中呈现的两字母的方位关系一致。在此过程中, 使字母间距离信息无关于句图是否一致的判断。结果发现, 启动呈现中字母间距离和探测呈现中字母间距离的匹配加速了判断。说明在对“above”和“left”等术语的加工过程中不仅表征了方向, 而且还表征了距离。在该研究中方向是“above”和“left”等术语明显表达的信息, 而距离则是字母刺激呈现中隐含的信息。基于 Carlson 和 Van Deman (2004) 的研究, Ashley 等人 (2007) 再次证明术语“near”和“far”的加工中不仅表征了距离, 而且表征了方向。在其研究中, 距离是“near”和“far”等空间术语明显表达的信息, 而方向是字母刺激呈现中隐含的信息。这两个研究说明, 在理解空间术语的过程中, 参照系表征的参数不仅只限于与术语所表达的信息相关的参数, 还包括了其它与加工任务相关的参数。然而, Carlson 等人 (2004) 和 Ashley 等人 (2007) 的研究只涉及参照系的方向和距离参数表征,

但没有分析朝向参数表征。前已述及参照系的轴定义了朝向, 轴的两个终点分别定义了该朝向下的两个方向。Landau 和 Hoffman (2005) 的研究观察了威廉斯综合症儿童所犯的方向混淆错误, 结果发现这类儿童更可能在同轴内的两个终点上犯混淆错误, 例如在上下轴内混淆“上”和“下”的情况比在上下轴和前后轴间混淆“上”和“前”的情况多。这在某种程度上表明了参照系表征存在完整进入到轴而独立于它的终点的可能性, 即可能存在联系于参照轴的参照系朝向表征。而朝向表征似乎比方向表征更概括和抽象, 故在视觉空间关系加工中是否存在这种表征值得进一步探讨。

综上所述, 有关空间术语加工的研究主要探讨了参照系方向和距离参数的表征。同时, 新近研究和以往研究间存在结论上的分歧, 主要表现为: 在对表达距离关系的术语的理解过程中是否设定或表征了方向参数, 而在对表达方向关系的术语的理解过程中是否设定或表征了距离参数。这一分歧引发了对视觉空间关系加工的思考。数量加工作为精确的距离关系表征, 在其加工过程中是否设定或表征了方向及朝向参数? Kosslyn 等 (1990) 在其“高级视觉空间认知加工子系统理论”中将视觉空间属性编码 (背侧通路) 子系统分为两个加工阶段, 第一阶段对应于局部空间扫描子系统, 第二阶段对应于类别、数量关系编码子系统。Kosslyn 认为在局部空间扫描子系统对客体或客体部分间定位的说明或加工, 会因具体任务的不同而使用不同参照系。但对于视觉空间关系加工中参照系参数的表征, 以往研究还未进行专门探讨。参照系所涉及的方向、朝向及距离参数在实际的空间构形中分别表征了两客体间的相对位置、参照客体 (或者视者, 或者环境) 的朝向, 以及两客体间的空间。周荣刚 (2004) 对视觉空间关系判断的影响因素进行了研究, 其结果之一表明, 角度不影响对空间关系的判断, 该研究中的角度因素在某种程度上类似于两客体在空间中的方向与朝向。但其采用的是外显的比较方法, 在内隐条件下, 方向与朝向是否会在视觉空间关系加工中参与表征, 值得进一步探讨。

本研究拟选择数量空间关系判断任务对空间关系表达过程中距离、方向与朝向参数的表征及相互作用进行探讨。同时, 因为数量空间关系判断是精确的距离表征, 故本研究试图在数量空间关系判断任务中通过对方向和朝向参数表征情况的分析, 进一步探讨类别与数量两种空间关系在数量空间

关系判断任务中的并存与联系。

2 实验一 数量空间关系判断中方向参数表征研究

2.1 目的

实验一旨在探讨数量空间关系判断中是否存在方向参数表征。在刺激呈现上,对启动刺激与探测刺激各自中黑点相对于字母的方向间的匹配关系进行控制,以考察匹配关系是否能易化对探测刺激的反应。研究拟用启动反应时减去探测反应时得到的差值作为评价易化操作的指标。研究逻辑是,如果数量关系加工中存在方向表征,则启动刺激中黑点相对字母的方向作为方向参数的一个值被启动刺激的反应所编码,当同样的值使用在探测刺激中时,将激活和易化对探测刺激的反应,故用启动反应时减去探测反应时将获得一个正值;反之,则不会得到正值。

2.2 方法

2.2.1 被试 大学生 29 名,男 16 名,女 13 名,视力或矫正视力正常,均为右利手,之前未参加过类似实验。

2.2.2 实验仪器与材料 实验仪器为 P42.4Hz 计算机,17 英寸平面 CRT 显示器,刷新频率 70Hz,分辨率 1024×768。黑色圆点(直径约 0.5cm,相应视角 0.40°)和随机选取的字母(高 0.79cm,宽 0.62cm,相应视角 0.64°与 0.50°)构成刺激呈现。本研究将黑点和字母间最小相距 0.2cm (相应视角 0.16°) 到最大相距 1.69cm (相应视角 1.38°)的范围定义为“短”距离,将黑点和字母间最小相距 2.69cm (相应视角 2.19°)到最大相距 4.68cm (相应视角 3.82°)的范围定义为“长”距离。按实验设计要求,一个 trial 中启动刺激与探测刺激匹配的距离严格相等,但距离长度随机在“短”或“长”的要求范围内选取,不匹配的距离按设计要求无论是“短、长”搭配还是“长、短”搭配,只要符合“短”或“长”的范围要求,所选距离长度随机。距离判断时的参照距离为 2.19cm (相应视角 1.79°,比刺激呈现中最长的短距离长 0.5cm,比最短的长距离短 0.5cm)。该距离设计使启动和探测刺激中所选距离无论是短距离加工(根据参照距离判断为短)还是长距离加工(根据参照距离判断为长),都属于数量空间关系加工中的较易刺激加工。如果判断距离在参照距离上下 0.5cm 之内,则属于较难加工,本研究中没有选择较难加工任务。这种距离设计已为许多实验证明能有效控制数量空间

关系加工的难度(游旭群,2002;周荣刚,2004;晏碧华,2008)。黑点按设计要求处于字母正上方、下方、左方或右方。在呈现中除了黑点对字母的相对位置和距离按设计要求变化,其它因素均随机变化,包括黑点和字母在屏幕中的位置和字母形体,以消除其它一切(除了黑点和字母间的距离及相对位置)可能使操作易化的因素。刺激字母为黑色,背景为白底。各刺激呈现位于屏幕中心 15cm×15cm 的一个方框内(方框为白底白边,实际实验中看不见),没有刺激落到单侧视野范围中去的情况。刺激材料呈现示例如图 2 所示(启动刺激与探测刺激中黑点和字母间距离以及黑点相对字母方向均不匹配的情况)。

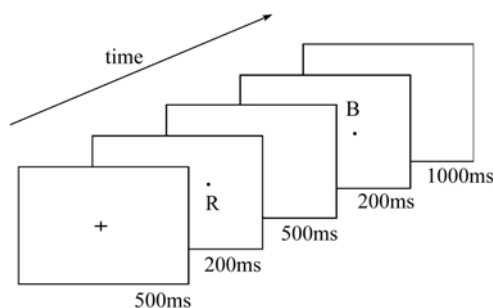


图 2 实验刺激及程序示例

实验一中,方向匹配指上上、下下、左左和右右的呈现情况,第一和第二个字分别代表启动刺激和探测刺激中黑点相对字母的方向。不匹配则指上下、下上、左右和右左的呈现情况,匹配与不匹配都是参照系同轴内的情况。总计正式 32 个 trials,随机重复四遍呈现。为干扰被试对正式 trials 中两种距离的比较形成新的类别,在正式实验中加入介于短距离和长距离之间的中间距离的刺激作为假刺激,以增加距离变化,总计 10 个 trials 随机重复四遍呈现,其结果不计入统计。共 168 个 trials。

2.2.3 实验程序 实验程序用 E-Prime 软件编写。被试端坐于屏幕前约 65cm 处。指导语要求被试先学习参照距离,然后既快又准地判断黑点与字母间的距离较参照距离是“短”还是“长”,并用右手作按键反应。指导语呈现完后屏幕上呈现水平和垂直均相距 2.19cm 的两对平行线段,要求被试记忆两平行线段间的距离。然后开始有反馈练习,以便被试熟悉实验任务与按键反应。练习正确率达到 95% 以上开始正式实验。正式实验中先呈现注视点“+”500ms,随后呈现启动刺激 200ms,要求被试在 2000ms 内作出反应,否则将自动呈现下一 trial,启

动刺激按键反应结束后, 间隔 500ms 呈现探测刺激 200ms, 探测刺激按键反应结束后, 间隔 1000ms 后开始下一 trial。实验程序自动记录反应时和正确率。实验中途由程序提示被试休息三分钟后继续实验。被试对实验程序的认识仅仅是进行一系列距离的比较判断, 只有研究者清楚一个 trial 内启动和探测的设计。

2.2.4 实验设计 使用 2(探测方向关系: 与启动方向匹配、与启动方向不匹配) $\times$ 2(探测距离关系: 与启动距离匹配、与启动距离不匹配)的设计对探测反应时与启动反应时减去探测反应时的差值(为了计算差值, 对启动反应时数据也按 2 $\times$ 2 设计进行整理)分别进行重复测量方差分析。

2.3 结果与分析

对数据进行统计分析之前, 剔除正确率低于 90% 的被试, 剔除 2.5 个标准差以外的反应时数据

(实验一剔除 4 名被试, 以下各实验剔除标准相同)。因为严格控制了错误率, 且错误率不是本研究的重点, 故本研究不对错误率进行专门分析。

2.3.1 对探测反应时的分析 对探测反应时的方差分析表明(表 1), 探测方向关系主效应不显著, $F(1, 24)=1.74, p>0.05$ 。探测距离关系主效应非常显著, $F(1, 24)=22.04, p<0.001$ 。二者交互作用显著, $F(1, 24)=4.87, p<0.05$ 。简单效应分析显示, 探测方向关系在探测距离关系为匹配时存在显著差异($p=0.02$), 说明当探测距离关系匹配时, 探测方向关系的匹配比不匹配对探测反应有明显促进作用, 在探测距离关系不匹配条件下探测方向关系变量不存在显著差异($p=0.47$)。探测距离关系变量在探测方向关系匹配与不匹配时都存在显著差异($ps<0.05$), 说明探测距离关系匹配对探测反应有明显的促进作用。

表 1 实验一启动、探测反应时及其差值均值(错误率%)及标准误($N=25$)

探测方向	探测距离	启动反应时		探测反应时		启动-探测反应时	
		<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>MD</i>	<i>SE</i>
匹配	匹配	560.65(1.8)	35.00	536.52(1.6)	34.85	24.13	12.33
	不匹配	575.65(1.3)	32.73	570.70(1.8)	28.09	4.98	8.45
不匹配	匹配	568.38(2.6)	26.48	554.99(2.5)	34.60	13.39	11.31
	不匹配	563.17(1.6)	34.03	585.56(2.2)	31.75	-22.39	14.67

2.3.2 对启动反应时减去探测反应时差值的分析

方差分析表明, 探测方向关系变量主效应显著, $F(1, 24)=9.01, p<0.01$ 。说明探测方向关系匹配比不匹配对探测反应有更明显的促进作用。探测距离关系变量主效应显著, $F(1, 24)=19.99, p<0.001$ 。说明探测距离关系匹配比不匹配对探测反应有更明显的促进作用。探测方向关系与探测距离关系的交互作用不显著(见图 3), $F(1, 24)=2.88, p>0.05$ 。

2.4 讨论

本研究所采用的启动——探测内隐测量研究范式, 参考了 Carlson 等人(2004)和 Ashley 等人(2007)关于空间关系理解中参数表征研究的范式。在该研究范式下, 这类研究将探测反应时结果作为参考, 而将反应时差值结果作为结论依据。因为探测反应时结果没有考虑对启动刺激本身的一些反应差异带给探测刺激的影响, 而反应时差值则可以实现将每个既定的启动呈现和探测呈现对联合起来作为一个整体, 将启动反应本身可能存在的任何差异也考虑进结果分析中去。具体讲, 有时等量的探测反应时并不代表相等的启动量, 而在考虑了启

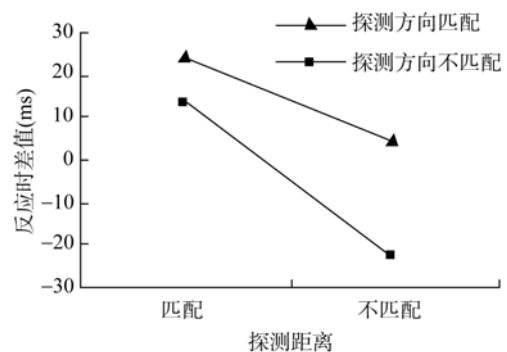


图 3 探测方向与探测距离交互作用

动反应本身的差异以后, 才能区分启动量的大小。因此在一个既定的启动和探测刺激对里, 通过反应时差值考察匹配关系可能带来的启动效果, 比单独考虑探测反应时更直接更准确。本研究通过控制刺激反应难度(见实验材料), 使启动反应本身无论是短距离判断还是长距离判断保持了一致的难度, 但是不排除其它可能的系统差异对反应的影响, 因此数据的统计分析方法也参照这类研究, 用启动反应时和探测反应时差值作为变量分析及结论的主要依据。

对探测反应时的结果显示,探测方向关系的匹配只在探测距离关系也为匹配时才促进对探测刺激的反应。而将启动反应时的系统差异考虑进结果的反应时差值分析则说明,黑点相对字母的方向在启动和探测刺激间匹配时,不管探测距离关系是否匹配都存在显著的易化和促进作用。依照研究逻辑认为在数量加工中存在方向表征。进而,数量加工中的方向表征说明,在进行精确的距离表征时,能将启动刺激中黑点相对字母的方向与探测刺激中黑点相对字母的方向表征为方向相同或不同,从而产生反应时的变化,表现出同方向的易化和促进作用。而同方向或不同方向的表征过程是一个典型的类别空间关系加工过程。因此结论认为,数量空间关系加工中除包含主要的数量空间关系之外,还内隐地包含类别空间关系。

探测反应时的分析还说明,探测距离关系的匹配对探测反应有显著促进效果,而且在探测方向关系匹配与不匹配时都存在距离匹配带来的促进效果。Carlson (2004) 的研究认为,距离参数表征只发生在启动刺激和探测刺激中黑点相对字母的方向是参照系同轴的同一终点时,例如启动刺激和探测刺激中黑点相对字母的方向都是“上”,说明距离表征联系于参照系特定的终点;如果也发生于同轴内不同终点时,例如启动刺激中黑点相对字母的方向是“上”,探测刺激中黑点相对字母的方向是“下”,则距离表征联系于特定的轴;如果也发生于不同轴的终点时,例如启动刺激中黑点相对字母的方向是“上”,探测刺激中黑点相对字母的方向是“左”,则距离在一个更总体的全参照系水平表征。实验一启动刺激和探测刺激中不匹配的方向在参照系中处于同轴关系,因此依照 Carlson(2004)研究逻辑认为,视觉数量空间关系判断中距离参数是联系于轴的表征。但是,是否存在总体水平更高的表征需进一步在朝向表征的研究中分析。

3 实验二 数量空间关系判断中朝向参数表征研究

3.1 目的

实验二旨在探讨数量空间关系判断中是否存在朝向参数表征。参照系轴的朝向可能由参照客体朝向、视者朝向,或者环境中的突出特征来定义,当三者分别定义的朝向相分离时,就会产生参照系冲突问题。本研究只限于讨论从以上三个方面定义的朝向一致情况下的参照系各参数表征。实验二在

刺激呈现上控制启动刺激和探测刺激各自中黑点相对于字母的方向在参照系朝向上的匹配关系,考察关系的匹配是否能易化对探测刺激的反应,若存在易化作用,则匹配呈现时的启动反应时减去探测反应时的值为正数。其研究逻辑是在一个参照系表征中,如果参照系轴的一个终点所对应的方向在启动呈现中被编码,该过程还能激活或易化同轴另一个终点所对应的方向在探测呈现中的加工,则说明数量空间关系加工存在朝向表征。因为只有朝向表征条件下,才可能在加工一个终点时产生对参照系同轴另一个终点加工的启动,带来易化作用。

3.2 方法

3.2.1 被试 28 名大学生,男 16 名,女 12 名,其视力或矫正视力正常,均为右利手,之前未参加过类似实验。

3.2.2 实验材料 实验材料的基本形式同实验一,但在实验一基础上增加了 trial 内启动刺激与探测刺激中黑点相对于字母的方向不同轴的呈现形式,例如启动刺激中黑点在字母上方,探测刺激中黑点在字母左方(上左)。研究设计的关键是将一个朝向(例如上/下朝向)下不同的两个方向(之上和之下)的刺激呈现定义为匹配关系,而将不同朝向(上/下朝向与左/右朝向)下的方向(例如之左和之上)的刺激呈现定义为不匹配关系。总计正式 64 个 trials,重复两遍呈现。干扰假刺激沿用实验一的 10 个 trials,重复四遍呈现。被试总计需反应 168 个 trials。

3.2.3 实验程序 实验程序同实验一。

3.2.4 实验设计 使用 2(探测朝向关系:与启动朝向匹配、与启动朝向不匹配) $\times$ 2(探测距离关系:与启动距离匹配、与启动距离不匹配)的设计对探测反应时及启动反应时减去探测反应时的差值分别进行重复测量方差分析(为了计算差值,对启动反应时数据也按 2 $\times$ 2 设计进行整理)。

3.3 结果与分析

数据统计分析前剔除 3 名正确率低于 90% 的被试。

3.3.1 对探测反应时的分析 对探测反应时进行方差分析表明(表 2),探测朝向关系变量主效应非常显著 $F(1, 24)=53.02, p<0.001$ 。探测距离关系变量主效应非常显著, $F(1, 24)=118.49, p<0.001$ 。二者交互作用显著, $F(1, 24)=11.10, p<0.001$ 。简单效应分析显示,探测朝向关系在探测距离关系两种条件下均有显著差异($p<0.001, p=0.005$),说明当启动刺激

与探测刺激中的黑点相对字母的方向在朝向上匹配时，对探测反应有明显的促进作用。探测距离关

系在探测朝向匹配条件下差异显著($p<0.001$)，在探测朝向不匹配条件下差异不显著($p=0.065$)。

表 2 实验二启动、探测反应时及其差值均值(错误率%)及标准误($N=25$)

探测朝向	探测距离	启动反应时		探测反应时		启动-探测反应时	
		<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>MD</i>	<i>SE</i>
匹配	匹配	561.49(1.6)	28.83	552.31(2.4)	36.08	9.18	8.59
	不匹配	564.58(2.8)	32.19	572.46(2.5)	29.62	-7.88	9.65
不匹配	匹配	569.36(1.4)	35.34	573.38(1.6)	34.58	-4.02	9.85
	不匹配	578.41(2.3)	31.85	584.82(1.7)	33.23	-6.41	11.23

3.3.2 对启动反应时减去探测反应时差值的分析
方差分析结果显示，探测朝向关系变量主效应不显著， $F(1, 24)=3.34, p>0.05$ 。探测距离关系主效应不显著， $F(1, 24)=3.77, p>0.05$ 。探测朝向关系和探测距离关系间交互作用显著(见图 4)， $F(1, 24)=10.52, p<0.001$ 。简单效应分析表明，探测朝向关系在探测距离匹配时差异显著($p<0.001$)，在探测距离不匹配时差异不显著($p=0.765$)，说明探测朝向匹配的促进作用只在探测距离匹配时出现。探测距离关系在探测朝向匹配时差异显著($p=0.002$)，在朝向不匹配时差异不显著($p=0.696$)。说明探测距离匹配的促进作用也只在朝向匹配时出现。

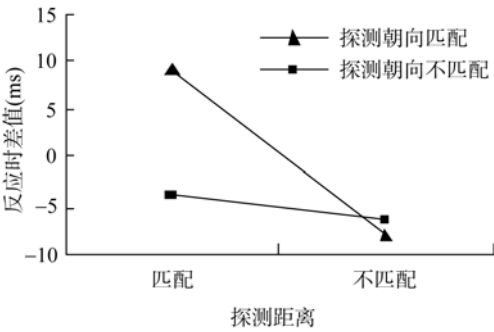


图 4 探测朝向与探测距离交互作用

3.4 讨论

实验二对探测反应时和反应时差值的分析都显示出探测朝向关系与探测距离关系间显著的交互作用及简单效应。探测反应时和反应时差值的简单效应分析都表明，探测距离匹配的促进作用只在探测朝向关系匹配时发生。实验二中探测朝向与启动朝向的匹配即探测呈现中黑点相对字母的方向和启动呈现中黑点相对字母的方向分别处于参照系一个轴上的两个终点。也就是说实验二中的距离表征只发生在参照系同轴内的不同终点上。依照前文述及的 Carlson (2004) 研究逻辑认为距离表征发生于同轴内不同终点时，则距离表征联系于特定的轴。因此，实验二进一步肯定实验一中距离参数是

联系于参照系轴表征的结论。

关于朝向表征，探测反应时的简单效应分析结果显示，探测朝向关系在探测距离关系匹配和不匹配时都存在促进作用，即启动刺激和探测刺激中黑点相对字母的方向在朝向上一致时比不一致时对探测反应的促进作用更明显。将启动刺激的作用考虑进结果分析发现，探测朝向关系的匹配只在探测距离关系匹配时有促进作用。探测反应时和反应时差值结果间的差异反映了启动反应时的系统差异对启动效果的影响。实验二结果显示朝向参数只在某些情境中表征，不如实验一中方向表征明显，似乎需要更多的激活因素。分析原因认为，朝向表征比方向表征更概括，更抽象，往往对表征的任务情境有更多要求。在本实验的加工过程中，当启动刺激与探测刺激在距离和朝向上均匹配时，两刺激所形成的空间关系是围绕着字母获得表征的，即两个黑点等距地延伸到参照系同一轴的两端。其中相同的距离表征扩大了先后表征的相似性，这在一定程度上是对朝向表征的激活，得到距离匹配条件下朝向参数参与表征的结果。进而，数量关系加工中的朝向表征的存在说明，在进行精确的距离表征时，能将启动刺激中黑点相对字母的方向，与探测刺激中黑点相对字母的方向，表征为同朝向或不同朝向，产生反应时的变化，表现出同朝向在一定情境中的易化和促进作用。此过程中，对先后呈现的刺激的朝向相同或不同的表征是一个典型的类别加工过程。本研究只探讨了参照系上下轴和左右轴朝向的表征，即空间中的垂直与水平分布。综上所述认为，数量加工过程中可能存在垂直与水平的类别空间关系表征。

4 实验三 大小关系比较判断任务研究

4.1 目的

在本研究所采用的实验范式下，在对黑点和字

母间关系进行加工的过程中,可能因为注意在启动刺激和探测刺激中先后扫描的距离和方向等相同而获得启动反应时减去探测反应时的差值为正值的结果。如果该假设成立,那么实验一中获得的匹配促进效果就可能归因于注意扫描,而不是参照系参数表征的作用。反之,如果在实验一中获得的匹配促进效果是空间关系加工中参照系参数表征的作用和结果,那么该结果不应该出现在无关于空间关系加工的其它关系加工任务中。实验三的目的就在于进一步验证方向和距离参数表征可能专属于空间关系的理解和加工,而并非存在于其它的非空间关系加工中。实验三选择两字母间大小关系的比较任务来探讨该问题。实验三中大小不同的两字母与实验一中的黑点和字母保持一致的刺激呈现方式、方向与距离匹配关系等,考察两字母大小关系比较任务中是否存在方向与距离匹配的促进效果。之所以选择大小关系比较任务,是因为它具有和实验一中的空间关系判断任务相似的成分,例如注意可能在两字母间移动,两字母间的关系必须被加工,大小关系加工在本质上也具有空间性质等。

4.2 方法

4.2.1 被试 28名大学生,男16名,女12名,其视力或矫正视力正常,无色盲,均为右利手,之前未参加过类似实验。

4.2.2 实验材料 刺激材料由一红色字母和一绿

色字母构成。两字母间的方位关系、距离关系以及呈现的位置等同实验一。字母大小、形状随机变化。大字母高 1.02cm,宽 0.90cm (相应视角 0.83°与 0.73°),中间大小字母高 0.79cm,宽 0.62cm (相应视角 0.64°与 0.50°),小字母高 0.56cm,宽 0.34cm (相应视角 0.46°与 0.28°)。总计 32 个正式 trials 一半反应为大(大字母和中间字母比较,中间字母和小字母比较),一半反应为小(中间字母和大字母比较,小字母和中间字母比较),重复呈现四遍,被试需反应 168 个 trials。

4.2.3 实验程序 实验刺激呈现流程同实验一,只是被试任务变为判断呈现中红色字母比绿色字母大还是小,并按相应的反应键。

4.2.4 实验设计 同实验一。

4.3 结果与分析

数据统计分析前剔除 1 名正确率低于 90%的被试。

4.3.1 对探测反应时的分析 探测反应时方差分析表明(表 3),探测方向关系变量主效应显著, $F(1,26) = 4.52, p < 0.05$ 。说明探测方向关系匹配时对探测反应具有促进作用。探测距离关系变量主效应不显著, $F(1, 26) = 3.05, p > 0.05$ 。探测方向关系与探测距离关系变量交互作用不显著, $F(1,26) = 1.13, p > 0.05$ 。

表 3 实验三启动、探测反应时及其差值均值(错误率%)及标准误($N=27$)

探测方向	探测距离	启动反应时		探测反应时		启动-探测反应时	
		<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>M</i>	<i>SE</i>	<i>MD</i>	<i>SE</i>
匹配	匹配	531.96(1.2)	28.78	542.1841(2.0)	32.65	-10.23	7.81
	不匹配	515.43(1.8)	36.13	527.4889(1.5)	34.43	-12.06	9.65
不匹配	匹配	531.11(2.1)	33.08	550.4178(1.6)	27.15	-19.31	8.84
	不匹配	527.20(1.5)	24.72	546.0074(1.3)	23.33	-18.81	8.72

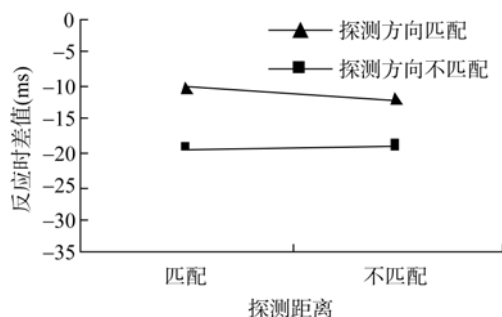


图 5 实验三探测方向与探测距离交互作用

4.3.2 对启动反应时减去探测反应时差值的分析 反应时差值方差分析结果显示,探测方向关系主效应不显著, $F(1, 26) = 2.65, p > 0.05$ 。探测距离关系主

效应不显著, $F(1, 26) = 0.02, p > 0.05$ 。二者的交互作用也不显著, $F(1, 26) = 0.106, p > 0.05$ (见图 5)。

4.4 讨论

实验三探测反应时结果显示探测方向关系变量主效应显著。而将启动反应时考虑进结果的反应时差值分析显示,探测方向关系变量与探测距离关系变量主效应都不显著,说明没有方向与距离匹配的促进效果。对此差异分析认为,启动反应时对距离关系变量与方向关系变量两个变量的校正效果不同,和变量中涉及的信息性质有关。根据前述的研究逻辑,在本研究范式下,将探测反应时结果作为参考,而将反应时差值的结果作为结论的主要依

据,故可认为,在涉及简单注意扫描的大小关系比较任务中,方向与距离参数并没有得到充分的加工,从而证明实验一中的匹配促进效果来自数量加工中方向与距离参数的作用。在实验三中,方向与距离参数的具体值在完成反应任务时都为注意所获得,但因为这些值无关于当前的大小关系判断任务,故在反应中没有被编码和保持,也不可能后续刺激加工中产生促进作用。因此,一个仅仅要求注意分配到每个客体而无关空间关系加工的任务尚不足以激活方向与距离参数表征。

5 总讨论

Kosslyn 提出的类别与数量两种空间关系表征方式精炼了人类一切认知活动中的空间关系表征。本研究探讨了数量空间关系加工中的参数表征问题,深化了空间关系加工的研究。其中,通过方向与朝向参数表征情况的分析,探讨了数量空间关系加工中是否包含了类别空间关系表征。对以往关于两种空间关系加工间联系的研究而言,是研究方法和范式的突破。概括地讲,本研究探讨了两种空间关系加工间的包含关系,而非影响关系;被试完成的实验任务只有一种,即数量空间关系判断任务,克服了以往研究中两种任务间互相影响,难度不对等的问题;本研究不是以任务的分离代表加工的分,区分了对两种空间关系外显与内隐的心理加工方式。

依照研究逻辑,本研究实验一结果表明数量空间关系加工过程中存在方向参数表征。而且在使用同样的匹配模式完成不同颜色两字母间大小关系的比较判断任务时,启动刺激和探测刺激间的方向和距离匹配并没有对探测反应产生促进作用(实验三),说明方向并不是在任何关系加工中随刺激的呈现而得到表征。数量空间关系判断是精确的距离表征和加工,按照 Kosslyn 的定义,本应无关于客体间相对位置关系的表征和加工。但本研究发现,在对客体间距离进行加工的同时,启动刺激和探测刺激中客体间相对方向的表征也被激活,表现为将启动刺激与探测刺激中黑点相对字母的空间关系表征为同方向或不同方向。判断先后呈现的两刺激中的位置关系是否相同属于以往研究中典型的类别加工(van der Lubbe, 2006)。因此,方向参数表征的存在说明数量加工中内隐地包含了类别加工。故此,两种空间关系加工间可能不是以“全或无”的方式来表征空间关系的,即使依照 Kosslyn 的假设,存

在数量空间关系与类别空间关系两个相分离的加工子系统,但是每个子系统的加工可能是以一种空间关系表征为主,另一种为辅。Martin (2008)的研究将 Kosslyn 的两种空间关系假设称为 SSC (separate spatial coding) 假设,将与之相对的观点称为 CSC (continuous spatial coding) 假设。CSC 假设认为,两种空间关系加工实质上依赖于相同的神经网络,该神经网络由注意等更初级或者更总体的目的加工所控制。该目的加工呈现出比类别与数量加工差异本身更本质的半球差异(在许多研究中误将这种半球差异当作类别与数量加工的差异),并根据具体的任务要求对两种空间关系赋予不同的权重。本研究结果更支持 CSC 假设,两种空间关系加工统一于具体的任务,根据任务要求产生主要的表征对象。Niebauer (2001)的研究认为类别加工可能是数量加工的初始阶段。本研究认为类别和数量加工间可能不存在固定的谁是谁的初始加工阶段的问题,只是依据任务要求,在表征中有主次、先后、外显与内隐的区别。如果能在本研究范式下证明方向表征早于距离表征,则 Niebauer (2001)关于类别加工是数量加工的初始阶段的结论尚可得到支持,但目前还没有研究探讨该问题。

本研究实验二探讨了参照系朝向参数在数量空间关系加工中的表征。结果表明当启动刺激和探测刺激中黑点与字母间的距离匹配时存在朝向表征。本研究中朝向表征是在参照系中依照上下和左右两条参照轴来定义的,将刺激中客体间的位置关系更为概括地表征为空间垂直或空间水平的关系。朝向表征比方向表征(依照参照系对客体间相对位置关系的表征)更概括更抽象,也不如方向表征普遍。在一些情境下朝向参与表征而在一些情境下则不参与表征,这是参照系表征灵活性的表现。在本研究范式下,朝向表征说明在数量加工过程中,存在对先后呈现的刺激中黑点相对字母的方向在参照轴朝向上一致或不一致的表征,即对先后呈现的刺激中黑点相对字母的位置关系在空间垂直还是空间水平的“判断”。分配一个空间形态或位置范围到一个同等的水平,而没有定义精确的几何特性是类别空间关系的特征。朝向参数的表征将空间依照参照系的两条轴划分为垂直与水平的区域正是类别空间关系特征的体现。因此认为,朝向表征再次说明数量空间关系加工中存在类别空间关系表征,而且依据任务情境具有表征的灵活性。以往对类别空间关系的研究多考察了上/下,左/右,之内/之外

等关系,而本研究对参照系朝向参数所定义的垂直与水平空间关系的研究属首次尝试。视觉认知研究中的表征和加工对任务的依赖性很大,本研究设想在类别空间关系加工任务中,朝向表征可能会更明显或更充分。

距离、方向和朝向参数间的相互作用表现在对距离参数表征水平的分析中。实验一和二结果显示,探测距离关系的匹配促进作用只发生在启动刺激和探测刺激中的方位关系处于参照系同轴而非异轴时。按照 Carlson 的研究逻辑,距离参数是联系于参照系轴的表征,日常生活中对一段垂直呈现的距离和一段水平呈现的距离进行比较,似乎困难于对都是垂直或都是水平呈现的距离的比较,这可能和距离表征是联系于参照系轴的表征有关。在 Carlson (2004) 的研究中,距离匹配的促进效果在不同轴的不同终点上都有显著表现,表明距离参数联系于整个参照系表征,操作跨越了横轴和纵轴。这种差异是由自上而下的概念表征和自下而上的知觉表征间的差异导致,还是由于 Carlson (2004) 的句图转换任务与本研究数量空间关系判断任务的任务要求不同所致,尚需进一步探讨。Carlson (2004) 研究中主要加工方位关系,距离是内隐加工对象,而本研究情况正相反,主要加工距离关系,方位是内隐加工对象。

本研究中需考虑实验中的匹配促进效果是参数表征的结果,而不是知觉单元相似或其它因素造成的。实验一中对探测反应时的分析显示,探测方向关系和探测距离关系间存在显著的交互作用,而其简单效应分析提示,所探讨的易化操作中可能有知觉单元相似带来的效果。因为相比其他实验处理条件,在方向匹配、距离匹配条件下知觉单元是最相似的。但是将启动反应时的系统差异考虑进结果的反应时差值分析显示,探测方向关系与探测距离关系间没有显著的交互作用,否定了这一可能。实验二中尽管朝向一致,距离一致的处理条件较其它条件显著促进了探测反应时的节省,获得正的反应时差值。但分析认为,知觉单元的相似应该在方向上的匹配更相似。朝向上的匹配只是同轴匹配,例如启动是“上”的方位关系而探测是“下”的方位关系。如果这类匹配能导致知觉单元启动,则方向上的匹配就更可能产生知觉单元的启动了。但是实验一中并没有出现探测方向关系和探测距离关系的交互作用。说明本研究采用的变化的刺激形态和位置等有效地防止了知觉单元相似的影响。对本研究

实验一的结果另外一种可能的解释是,因为注意扫描的作用,在启动呈现和探测呈现间通过扫描相同的距离和方向等,从而获得匹配呈现的易化促进效果。如果该假设成立,那么两字母间的任何关系加工都可能因为注意扫描的缘故而导致该结果。为区分注意扫描和参数表征的作用,在实验三中用大小关系比较任务进一步证明,不是所有的两客体间的关系加工都能表征方向、距离参数,这些参数表征可能专属于空间关系的理解和加工。

另外,本研究探讨方向和朝向参数表征时,选用了空间中的主方位关系,上、下、左、右与垂直和水平关系。这些空间中的主方位在空间关系的理解过程中都有很明确的空间语言与之对应,与其它方位关系值(比如左上、右上等,甚至更难用简洁的空间语言概括的值)相比,在参照系表征中是空间模板(spatial template)上空间关系表达最好的例子(Logan & Compton, 1996)。在空间关系的知觉表达过程中,它们是否更容易表征,而其它的值能否得到相似的表征结果,值得进一步深入探讨。

本文只探讨了数量空间关系判断任务中的参数表征及相互作用,类别空间关系判断任务中的参数表征情况将另文探讨。

6 结论

(1)数量空间关系加工中存在方向参数表征,在一定任务情境下存在朝向参数表征。该表征过程进而说明数量空间关系加工中内隐地包含类别空间关系表征,一定任务情境下,可能存在垂直/水平的类别空间关系表征。

(2)距离匹配的促进效果只在启动刺激和探测刺激的方位关系处于参照系同轴时发生,表明数量空间关系加工中距离参数是联系于参照系轴的表征。

参 考 文 献

- Ashley, A., & Carlson, L. A. (2007). Encoding direction when interpreting proximal terms. *Language and Cognitive Processes*, 22, 1021-1044.
- Carlson, L. A., & Van Deman, S. R. (2004). The space in spatial language. *Journal of Memory and Language*, 51, 418-436.
- Jager, G., & Postma, A. (2003). On the hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations: a review of the current evidence. *Neuropsychologia*, 41, 504-515.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. London: The MIT Press.
- Kosslyn, S. M. (2006). You can play 20 questions with nature

- and win: categorical versus coordinate spatial relations as a case study. *Neuropsychologia*, 44, 1519–1523.
- Kosslyn, S. M., & Amsterdam, J. B. (1990). Components of high-level vision: A cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndromes. *Cognition*, 34, 205–240.
- Laeng, B. (1994). Lateralization of categorical and coordinate spatial functions: a study of unilateral stroke patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6(3), 189–203.
- Landau, B., & Hoffman, J. E. (2005). Parallels between spatial cognition and spatial language: Evidence from Williams syndrome. *Journal of Memory and Language*, 53, 163–185.
- Levinson, S. C. (1996). Frames of reference and Molyneux's questions: cross-linguistic evidence. In P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel, & M. Garrett (Eds.), *Language and space* (pp. 109–169). London: The MIT Press.
- Levinson, S. C. (2003). *Space in language and cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Logan, G. D., & Compton, B. J. (1996). Distance and distraction effects in the apprehension of spatial relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 159–172.
- Logan, G. D., & Sadler, D. D. A. (1996). Computational analysis of the apprehension of spatial relations. In P. Bloom, M. A. Peterson, L. Nadel, & M. Garrett (Eds.), *Language and space* (pp. 493–523). London: The MIT Press.
- Martin, R., Houssemand, C., Schiltz, C., Burnod, Y., & Alexandre, F. (2008). Is there continuity between categorical and coordinate spatial relations coding? Evidence from a grid/no-grid working memory paradigm. *Neuropsychologia*, 46, 576–594.
- Mou, W. M., Yang, S. H., & Zhang, K. (2000). Spatial relations in spatial situation model. *Psychological Science*, 23 (3), 336–339.
- [牟伟民, 杨姗, 张侃. (2000). 空间情境模型中的空间关系. *心理科学*, 23(3), 336–339.]
- Niebauer, C. L. (2001). A possible connection between categorical and coordinate spatial relation representations. *Brain and Cognition*, 47, 434–445.
- Postma, A., & Laeng, B. (2006). Editorial: new insights in categorical and coordinate processing of spatial relations. *Neuropsychologia*, 44, 1515–1518.
- Sergent, J. (1991a). Judgments of relative position and distance on representations of spatial relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 762–780.
- Sergent, J. (1991b). Processing of spatial relations within and between the disconnected cerebral hemispheres. *Brain*, 114, 1025–1043.
- van der Lubbe, R. H. J., Scholvinck, M. L., Leon Kenemans, J., & Postma, A. (2006). Divergence of categorical and coordinate spatial processing assessed with ERPs. *Neuropsychologia*, 44, 1547–1559.
- Yan, B. H., You, X. Q., & Tu, J. L. (2008). Dissociation and cooperation in visuospatial relations judgment. *Psychological Science*, 31 (1), 113–116.
- [晏碧华, 游旭群, 屠金路. (2008). 视觉空间关系判断的分离与协同. *心理科学*, 31(1), 113–116.]
- You, X. Q., & Yang, Z. L. (2002). Cognitive process in visuospatial relations encoding. *Acta Psychologica Sinica*, 34(3), 344–350.
- [游旭群, 杨治良. (2002). 视觉空间关系识别中的认知特性研究. *心理学报*, 34(3), 344–350.]
- Zhou, R. G., & Zhang, K. (2004). Visuospatial relations judgment based on clue. *Acta Psychologica Sinica*, 36(2), 127–132.
- [周荣刚, 张侃. (2004). 基于线索的视觉空间关系判断. *心理学报*, 36(2), 127–132.]

Coordinate Spatial Relations Processing Based on Representation of Parameters

YOU Xu-Qun^{1,2}; LI-Jing^{1,2}

(¹ School of Psychology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(² Shaanxi Provincial Key Lab of Behavior and Cognitive Neuroscience, Xi'an 710062, China)

Abstract

Processing of the visual world around us critically depends upon analysis of spatial relations between objects in scenes and analysis of subcomponents within complex multi-part objects. Spatial relations between objects can be represented either categorically or coordinately. The research results of the separation of processing two kinds of spatial relations are unstable and limited to the level at which two types of processing can affect each other. The analysis was not conducted on whether the processing of spatial relations would implicitly include spatial relations to another. The inevitable interference and interaction with each other in the two tasks of relations existed in previous studies, and the difficulties in the two tasks are different. All of these

factors, therefore, could influence the analysis of the relations between the two kinds of processing of spatial relations. Spatial relations are not only required by the visual analysis and the formation of a perceptual representation, but also, they form a conceptual representation due to the exchange. The understanding of spatial relations is the transformation of conceptual representation into the perceptual representation, while the expression of spatial relations is the transformation of perceptual representation into the conceptual representation. The reference system links the perceptual representation and the conceptual representation. The reference system is characterized as a three dimensional axial system, which is defined by a number of parameters, including origin, orientation, direction, spatial templates, and distance. Reference frame can be free to adjust each parameter, and move around the space as with any object, therefore, the reference frame is of a good flexibility. The processing of visuospatial relations is the expression of spatial relations, which is the transformation of perceptual representation into the conceptual representation. No studies by now, however, have explored the representation of reference frame and parameters in the processing of visuospatial relations.

In the three experiments, we collected response time, controlled across prime trials and probe trials in which orientation, direction, and distance between the objects matched or mismatched, and investigated the representation of reference frame parameters in a coordinate spatial relations processing.

The results showed that the representation of direction existed in the coordinate relations processing, and the parameters of orientation existed in the contexts of certain tasks. Facilitation, when prime/probe direction matched, derived from the representation of direction in a coordinate spatial relations processing, rather than the similarity of perception units. Facilitation, when prime/probe distance matched, only occurred when the relations of location of prime/probe was coaxial in a reference frame both in experiment I and experiment II.

The present results suggested that the representation of reference frame seems to be associated with the endpoint of reference frame in the coordinate relations processing, and in the contexts of certain tasks, be associated with axis of reference frame at a more general level. The processing of representation further indicated that in the paradigm of this research, a coordinate relations processing implicitly included categorical spatial relations, and in the contexts of certain tasks, spatial vertical / horizontal categorical spatial relations were included. Finally, the distance representation seems to be associated with a particular axis of reference frame, being applied across endpoints of the axes in the processing of coordinate relations.

Key words categorical and coordinate spatial relations; perceptual representation; reference frames; distance; direction; orientation