

# 类别空间关系加工系统和数量空间关系加工系统的分离

## ——来自多领域的研究证据\*

张 宇 游旭群

(陕西师范大学心理学系, 西安 710062)

**摘 要** Kosslyn 认为人类的空间关系加工系统分为类别空间关系加工子系统和数量空间关系加工子系统, 这两个子系统不仅存在功能上的分离, 并且存在大脑神经水平的分离, 这种神经水平的分离表现为两种空间关系加工的大脑半球偏向, 即类别空间关系加工的左半球偏向与数量空间关系加工的右半球偏向。对两种空间关系加工的研究, 涉及的领域从低水平的空间知觉, 至表象、记忆、语言、行动及物体识别等, 涉及的研究方法包括半视野速示法, 神经网络模拟, PET, fMRI, ERP, rTMS, 脑损伤病人的研究及比较动物研究。综合现有研究, 虽然大多数研究中得到的脑半球偏向为两种加工子系统在神经水平的分离提供了证据, 但不同研究中脑半球偏向的获得是相当不稳定的, 并且受到研究方法因素的影响。尽管造成神经水平的分离似乎与大脑左右半球对具有不同感受野特征的神经元输出的偏向有一定的关系, 但这仍需要进一步的研究证据。

**关键词** 类别空间关系加工; 数量空间关系加工; 脑半球偏向; 分离

**分类号** B842

### 1 引言

空间关系的加工对我们知觉我们周围的环境或进行空间活动有着非常重要的作用。这种空间关系包括环境中不同物体之间的空间关系 (between-object), 或复杂物体中各部分之间的空间关系 (within-object)。而空间关系的加工可以分为类别空间关系加工 (categorical spatial relation processing) 和数量空间关系加工 (coordinate relation processing)<sup>[1]</sup>。类别空间关系表征更抽象的, 包含一系列同等水平的相对位置关系 (如在上方/在左边), 而数量空间关系则表征更具体精确的数量关系 (如在上方 2cm 处)。Kosslyn 认为, 类别空间关系加工在物体识别中有重要作用, 尤其是识别那些可以扭曲变形的物体, 如动物或人<sup>[2]</sup>。例如一只卧在地上的狗, 虽然它的前腿与身体的空间位置关系在数量水平上相对于它站立时已有了改变, 但在更抽象的类别水平上, 前腿与身体的相对空间位置关系却依然没有改变: 即前腿与身体前端相连 (contact to)。这种相对位置的不变性使我们可以识别那些可以扭曲或变

形的物体。另一个重要作用是类别空间关系可以把物体的空间结构保留下来从而使视角的变化不会对物体识别造成影响。而数量空间关系则更多地用于指导我们的空间行动, 例如我们要端起一个杯子, 我们就必须加工手与杯子把手之间较精确的空间距离关系。

Kosslyn 认为我们的大脑有两个分离的空间关系加工系统, 分别加工类别空间关系和数量空间关系, 左半球更偏向于加工类别空间关系, 而右半球更偏向于加工数量空间关系<sup>[1]</sup>。大脑之所以进化产生这种神经水平的分离, 很可能因为分离的系统进行信息加工的效率 and 准确性更高, 因为分离的系统可以避免不同信息间的相互干扰。例如, 在进行某些物体的识别时, 我们必须忽略精确的数量空间关系而只进行较粗糙的类别加工, 过于精确的数量加工反而会对识别造成干扰。

两种空间关系加工系统理论引起了众多研究者的兴趣, 研究者采用不同的研究方法从不同的方面对多个领域中的空间关系加工进行研究, 试图为两种空间关系加工系统的分离提供证据。一些研究者找到了两种空间关系加工在功能上分离的证据, 负责数量空间关系判断的加工子系统既可随系统训练而表现出功能增强的练习效应。也可随年老过程而

收稿日期: 2007-12-01

\* 国家自然科学基金(30570602)与教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-05-0862)。

通讯作者: 游旭群, E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn,

发生功能衰减的年龄效应。相对而言,涉及类别空间关系判断的加工子系统则较少受到练习和老化因素的影响。研究提示,由于受大脑神经解剖结构特点以及加工任务性质的影响,数量空间关系加工子系统更多地表现出了认知加工的可塑性和易变特点,而类别空间关系加工子系统则表现出相对的稳定性或可塑性较低的认知特性<sup>[3]</sup>。梁三才等将空间关系判断任务与注意瞬脱研究范式——RSVP 范式相结合得到了类别和数量空间关系判断之间的实验性分离:类别空间关系判断表现出较大的注意瞬脱效应,数量空间关系判断只有轻度注意瞬脱效应。这说明,类别和数量空间关系加工子系统具有不同信息加工特性:前者依赖实时注意资源,其编码过程更多涉及控制性加工;后者较少依赖实时注意资源,其编码过程更多涉及自动加工<sup>[4]</sup>。然而支持分离的最有力的证据莫过于大脑神经水平的分离,即两种加工涉及不同的大脑区域。因此,大量研究试图找到支持 Kosslyn 关于类别空间关系加工和数量空间关系加工的大脑半球偏向的证据。研究不仅涉及低水平的空间知觉,并且延伸至表象、记忆、语言、物体识别等更高水平的认知活动中。然而,不同研究的结果却不尽一致,是否得到神经水平的分离——脑半球偏向受到研究者采用的实验方法等因素的影响。这种分离的不稳定性意味着分离也许并不存在,或者分离的确存在,只是会受到一些因素的影响?如果分离真的存在,那么这种分离的程度有多大?这种分离是相对的还是绝对的?因此,分离是否真正存在仍然是一个被激烈争论的问题。从众多混杂的证据中整理出一些线索,找出影响得到不一致结果的因素,是分析是否真正存在两种分离的空间关系加工系统的关键。

## 2 神经网络模型对空间关系加工的模拟

为了证明分离的系统对信息加工的效率 and 准确性是有贡献的, Kosslyn 和同事用三层前馈式连接主义神经网络模型对两种空间关系的加工过程进行了模拟<sup>[5]</sup>。这种网络模型可以对网络提供反馈信息,网络通过利用反馈不断调整输出模式,从而实现自主学习,最终学会某项任务。Kosslyn 等假设:网络隐藏层与输出层中的神经元若只负责处理一种输入信息:类别空间关系,或者数量空间关系,这种网络——Kosslyn 等称为分离的网络(split network)——能够更快更好地学会空间关系的加工。如果隐藏层与输出层中的神经元同时负责处理两种输入信

息,既加工类别空间关系同时又加工数量空间关系,这种网络——Kosslyn 等称为不分离的网络(unsplit network)——其学习效率和准确率都有损失。实验对分离的网络和不分离的网络学习两种空间关系加工的情况进行了比较,结果显示:分离的网络的确比不分离的网络学习效率和准确率更高。

感受野的大小被假设与两种空间关系加工的脑半球偏向有着某种联系,尽管在后来的研究中对这种联系有了新的可能的解释<sup>[6]</sup>。研究假设认为,主要分布于左半球的较小的不重叠的感受野更适合于加工类别空间信息,主要分布于右半球的较大的重叠的感受野更适合于加工数量空间信息。而这可能是造成脑半球偏向的一个可能的原因。为给这一假设提供一些证据, Kosslyn 在网络的输入层之前加上了视网膜层,以实现感受野特征的模拟。加入视网膜层后的网络的学习情况与这一假设是一致的,学习加工类别空间关系的网络在学习结束后在视网膜层中获得了较小的感受野,而学习加工数量空间关系的网络在学习结束后则获得了较大的感受野。相对应地,具有较小感受野的网络在类别空间关系加工任务中表现得更好,而具有较大感受野的网络在数量空间关系加工任务中表现得更好<sup>[5]</sup>。

然而, Sergent 则对两种空间关系加工的分离提出了争论,她认为如果两个系统是分离的,那么数量加工系统所加工的数量距离信息就不会对类别加工产生影响<sup>[7]</sup>。而实际上对类别空间关系的加工的确会受到距离的影响,这种影响的表现之一为:在 Hellige 和 Michimata 的 Bar-Dot 任务中,点与棒的距离越远对类别空间关系的判断越快也越准确<sup>[8]</sup>。Kosslyn 等利用网络模拟对此做出的解释是:任务难度是影响类别和数量关系加工的因素之一,而任务难度可以通过距离,数量关系来控制。虽然类别和数量关系加工都受到距离的影响,然而这只能说明两者可能涉及一些共同的加工过程或机制,不能说明两者是同一个加工系统。因此 Kosslyn 认为,数量信息对类别关系加工的影响并不能成为两者不是分离的证据,因为两者同时受到第三个因素即任务难度的影响,这种影响可能只能说明两个系统的分离并不是绝对的,而是相对的,即使大脑的两个半球分别加工两种不同的空间信息,这两个加工系统之间也还是存在联系的<sup>[5]</sup>。

Kosslyn 所作的解释似乎并没有能够停止其他研究者对这项研究的争论。Kosslyn 用于实验的神经网络模型被 Cook 所反驳。Cook 认为 Kosslyn 实验中所得到的分离网络相对于非分离网络的学习优势

产生于输入层与输出层神经元之间低水平的相关,而并非是网络利用反馈自行学习的结果,因此并不能用来说明分离的网络比不分离的网络效率更高<sup>[9]</sup>。尽管 Kosslyn 和同事对 Cook 的争论进行了回复并重新设计了除去相关关系的网络模型,并且依然得到了分离网络相对于非分离网络的优势<sup>[10,11]</sup>。但来自神经网络的证据似乎并没有成为证明分离最有力的证据,因为不可否认神经网络模型与人类大脑之间还存在着很大的差异,来自神经网络的证据无法直接地用来说明人类被试也会得到相同的结果。因此,随后的研究基本都采用人类被试。

### 3 行为实验中较低水平认知加工的两种空间关系加工系统的分离

Hellige 和 Michimata 早在 1989 年首先创造并使用 Bar-Dot 任务对人类空间关系加工进行了研究。这种任务的刺激包括一系列有着不同相对位置的棒和点的组合,要求被试对棒和点的空间关系进行两种水平的空间关系判断<sup>[8]</sup>。类别水平的空间关系判断要求判断棒与点之间的相对位置关系,如:在上方/下方,或在左方/右方。而数量水平的空间关系判断则要求判断棒与点的精确空间位置关系,如点在棒上方 1.5cm 距离之内或之外。Hellige 和 Michimata 的实验刺激采用半视野速示法呈现给被试,这种刺激呈现方法是将刺激随机短暂地呈现于左或右视野中,而视野与大脑左右半球是交叉对应的,因此可以使与刺激呈现视野相对应的大脑半球优先对刺激进行加工,由此获得脑半球信息加工的相关数据。实验结果显示,在类别空间关系判断任务中,刺激呈现于右视野(左半球)时被试的表现要优于刺激呈现于左视野(右半球)的表现,而在数量空间关系判断任务中,刺激呈现于左视野(右半球)时被试的表现要优于刺激呈现于右视野(左半球)的表现。这种脑半球偏向在某种程度上说明两种空间关系加工在大脑神经水平上出现了分离。

随后,半视野速示法与 Hellige 和 Michimata 的 Bar-Dot 任务被广泛用来研究两种空间关系加工系统的半球偏向。

Kosslyn 等使用了半视野速示法与 Bar-Dot 任务相结合的实验范式对人类被试的空间关系加工进行了系列研究<sup>[12]</sup>。然而,在第一个实验中,Kosslyn 并没有使用与 Hellige 和 Michimata 的 Bar-Dot 任务完全相同的刺激,而是采用了另一种稍作变化的刺激。刺激包括一个圆点和一个曲线围成的不规则封闭图形,圆点与图形轮廓之间的空间距离分别为:0, 1, 10mm。要求被试对点与曲线图形的空间位置关系做出判断。在类别空间关系判断任务中,要求被

试判断点是在曲线图形上或不在曲线图形上(on/off),正确的判断是:当两者距离为 0mm 时,为在图形上;当两者距离为 1mm 或 10mm 时,为不在图形上。在数量空间关系判断任务中,要求被试判断点是离曲线图形远还是近,正确的判断是:当两者距离为 1mm,为近;当两者距离为 10mm 时,为远。实验结果显示:当刺激呈现于右视野即在左半球加工时,被试做类别空间关系判断表现得更好;而当刺激呈现于左视野即在右半球加工时,被试做类别空间关系判断表现得更好。这与之前获得的半球偏向是一致的。然而一个有趣的发现是:在这个任务中,类别关系判断的反应时要显著地大于数量关系判断的反应时。因此,这里得到的两种空间关系加工的脑半球偏向并不能作为两种空间关系加工系统是分离的证据,因为另一个可能的解释是:之所以出现半球偏向,是因为左半球更善于加工难度较大的任务,而右半球更善于加工难度较小的任务。

在后面的实验中,Kosslyn 使用了 Dunn 和 Kirsner 的“反转联合”的逻辑:在一个变量的至少三个水平上,被试在两个任务中的行为表现的变化方式是不同的,那么这两个任务就涉及了不同的加工系统,即出现了分离。如果是相同的,那就只涉及一个加工系统<sup>[13]</sup>。在第三个实验中,Kosslyn 采用了 Hellige 和 Michimata 任务中的实验刺激以控制任务难度,使类别判断的难度低于数量判断的难度。实验得到的被试的行为表现与第一个实验相反,即:类别关系判断的反应时小于数量关系判断的反应时。但脑半球偏向却和第一个实验保持一致。这两个结果相结合就排除了脑半球偏向的出现是大脑对不同难度任务的偏向的可能性,而可以归因于两种任务加工系统的分离。

### 4 认知神经科学的研究证据

半视野速示法只能提供最粗略的神经水平分离的证据,因为左或右视野的加工优势只能说明整个右或左半球可能更偏向于加工某项任务,并不能直接比较两种加工过程所涉及的较为精确的大脑区域。而获得不同加工过程所涉及较为精确的大脑区域的差异最直接的方法是比较在不同加工中大脑不同区域的激活或不同的激活程度。认知神经心理学的研究方法,如 PET, fMRI, ERP 等提供了这种可能性。Kosslyn 等人曾用 PET 对涉及两种空间关系加工的大脑区域进行了扫描<sup>[6]</sup>。实验得到与之前的研究一致的两种空间关系加工的大脑半球偏向:在类别空间关系加工任务中,大脑左半球区域的激活比在数量空间关系加工任务中更大;而在数量空间关系加工任务中,大脑右半球区域的激活比在类别空

间关系加工任务中更大。另一个有趣的发现是,两种空间关系的加工不仅涉及了与空间关系加工相关的大脑区域,更大范围的大脑区域也被不同程度地激活了。这种激活似乎与注意有一定的关系。因此,空间关系加工的脑半球差异似乎并非很大程度地来自于大脑左右半球所分布的神经元的感受野的差异,而更多的是因为注意的分配方式:大脑左右半球中具有不同感受野特征的神经元的分布方式可能是相同的,而右半球对具有较大感受野的神经元的输出信息更敏感,而左半球对具有较小感受野的神经元的输出信息更敏感。

Baciu 等用 fMRI 对角回在空间关系加工中的作用进行了研究。结果显示:右角回比左角回在数量关系加工任务中有更大的激活。然而有趣的是,这种激活优势在第一部分的任务结束后由右角回转到了左角回。因此脑半球偏向在一定程度上受到练习效应的影响<sup>[14]</sup>。

用认知神经科学的方法所作的研究总体来看得到了两种加工系统在大脑空间维度上的分离。然而分离是从加工过程的哪个阶段开始产生的?是在知觉编码阶段,记忆,提取或是反应决策阶段?空间维度的分离如果也能体现在时间维度上,将会对分离提供更有力的证据。

ERP 是有较高时间分辨率的认知神经科学的研究方法。Parrot 等用 ERP 记录了在刺激出现 230ms 至 270ms 后被试完成两种空间关系判断任务时的左右脑电波的不同。结果显示:在数量关系加工任务时,在右枕叶和顶叶上方区域得到了一个更大的负波。虽然 Parrot 的研究并没有得到两种加工分离开始的具体阶段,但 Parrot 认为 ERP 脑电波在大脑两半球的差异并非来自任务难度的差异,而是因为两种加工过程的确存在差异<sup>[15]</sup>。

在最近的一项研究中, van der Lubbe 等用 ERP 对类别空间关系加工与数量空间关系加工过程在时间维度上的分离进行了测量<sup>[16]</sup>。实验采用了 Bar-Dot 任务的变式:在屏幕中间首先呈现一组棒和点,称为 S1, 2.5s 之后在左或右视野呈现另一组点和棒,称为 S2。被试的任务是判断 S1 与 S2 在类别水平或在精确的数量水平是否相同。S1 与 S2 将整个任务过程分为了对 S1 的编码和记忆阶段,以及对 S2 的编码,对 S1 的提取,比较判断和做出反应的阶段。行为水平的数据包括反应时和错误率只显示出在数量加工中的左视野的右半球偏向,而没有显示在类别加工中的右视野的左半球偏向。

刺激 S1 后 0ms 至 800ms 的 ERPs, 刺激 S2 后 0ms 至 600ms 的 ERPs 显示,在数量判断任务中 S1

诱发了比类别判断任务中更大的早期和晚期的双侧大脑后部的反应,而 S2 则只诱发了数量判断任务中更大的早期的大脑对侧的反应,和类别判断任务中更大的晚期右半球的反应。这说明数量空间关系加工的左视野即右半球偏向来自于大脑左右半球在知觉编码阶段和记忆阶段的差异。

## 5 脑损伤病人的空间关系加工

尽管许多研究得到两种空间关系加工的大脑半球差异,但这种脑半球的功能性的分离是相对的还是绝对的一直是一个被研究者所争论的问题。对脑损伤病人的研究提供了一些证据,这些证据显示这种分离可能只是相对的<sup>[17]</sup>。Sergent 对裂脑病人的大脑半球加工空间信息的能力进行了研究,研究并没有获得任何脑半球偏向,病人大脑左右半球对类别和数量信息的加工效率相同。这说明至少一些信息在大脑两半球之间是可以相互传输的。Sergent 的研究在某种程度上说明了这种分离至少应是相对的。

然而其它对脑损伤病人的研究则不同程度地获得了支持分离的证据。Laeng 研究了大脑局部损伤病人对空间关系变化的反应能力——即知觉变化的敏感度。Laeng 认为,这种反应能力在大脑左右半球的差异也可以作为支持分离的证据。如果大脑左半球局灶性损伤会使病人对类别空间关系变化的敏感度降低,而大脑右半球局灶性损伤会使病人对数量空间关系变化的敏感度降低,就说明左半球涉及加工类别空间关系,而右半球涉及加工数量空间关系<sup>[18]</sup>。实验任务要求病人判断前后呈现的两种刺激是否相同,一半的刺激变化是类别空间关系的改变,如左右方向的变化,而距离不变;另一半的刺激变化是数量空间关系的改变,即方向保持不变,而距离发生变化。病人的表现与 Laeng 的预测一致:大脑左半球局灶性损伤病人在类别空间关系判断任务中出现更多的错误,大脑右半球局灶性损伤病人在数量空间关系判断任务中出现更多的错误。

脑损伤不仅会对知觉阶段的空间关系加工造成影响,并且会对空间关系的构建造成影响<sup>[19]</sup>。Laeng 对患有空间关系构建不能症的左/右单侧脑损伤的病人的进行研究,试图得到支持空间关系加工的半球差异的证据。实验结果显示这种空间关系构建能力的丧失或减弱的确发生在相对应的大脑单侧损伤之后。左侧大脑损伤会降低类别空间关系构建能力,而右侧大脑损伤会降低数量空间关系构建能力<sup>[19]</sup>。

Kessels 等通过对脑损伤病人的物体位置记忆进行研究,认为物体位置记忆涉及两种不同的记忆内容,一种为单纯的具体精确位置记忆,这更多地利用数量空间关系编码,而另一种为物体—位置捆

绑记忆,即在某个位置上的是什么物体,这更多地利用类别空间关系编码<sup>[20]</sup>。因此,如果两种加工在大脑两半球存在分离,大脑左半球损伤的病人表现出更差的精确位置记忆,大脑右半球损伤的病人则表现出更差的物体-位置捆绑记忆。实验结果与这一推测是一致的,这在一定程度上为分离提供了支持的证据。

## 6 对动物认知加工中空间关系加工的研究

对于动物的研究主要采用非人类灵长类动物和鸟类作为被试。但相对于大量采用人类被试的实验来说,采用动物作为被试的研究数量依然很少。然而遗憾的是,所有的动物实验研究都没有在同一个研究中同时包括类别关系加工任务和数量关系加工任务,一个可能的原因是实验前对动物训练的困难。

Hopkins 和 Morris 用半视野速示法研究了两只经过语言训练的大猩猩的视觉空间信息加工<sup>[21]</sup>。尽管训练相当复杂,但大猩猩的任务相当于判断上/下的类别空间关系。对反应时的分析显示,两个被试出现了不同的结果,一个被试的结果为:当刺激呈现于左视野即在右脑加工时,无论被试用哪只手反应,反应时都比呈现于右视野时更短。另一个被试则只有在用左手反应时,才出现左视野偏向。这与 Kosslyn 的理论以及从人类被试实验中得到的结果是不一致的。然而,只通过两个被试的数据得出结论的做法是值得争论的。

D'epy 等曾于 1998 和 1999 年先后在两项研究中分别研究了类别空间关系加工和数量空间关系加工中的脑半球偏向<sup>[22,23]</sup>。实验同时采用人类被试和非人类被试狒狒,为了对两者得到的数据进行比较,实验对两者的条件进行匹配。实验前需要人类被试和动物被试都要首先学习刺激与反应的匹配规则,因此,大量的学习与练习是否会对实验结果造成影响是 D'epy 等人的研究中一个值得关注的问题。

实验结果显示:对于先前参与规则学习的人类被试,并没有得到所期待的右半球偏向,而那些没有学习经验的人类被试得到了右半球偏向,然而这个偏向也只存在于前几次的测验中。对于动物被试,则没有得到任何右半球偏向。因此一个值得讨论的问题是:实验获得了不支持空间关系加工的脑半球偏向的证据,或只是练习效应影响了脑半球偏向的获得。然而进一步的分析表明,与人类被试相同,动物被试也有一个左半球偏向和一个类别加工策略的使用。因此,一个可能的解释是,在整个测验的初期有一个短暂的右半球偏向,但很快地,这种偏向就因为使用从练习经验中获得的策略而被左半球偏向所取代,因为类别加工策略的使用会产生左半

球偏向。总体来看,来自动物实验的数据得到的是一个微弱的类别关系加工的左半球偏向,而没有数量关系加工的右半球偏向。

Kosslyn 最初在提出两种空间加工的脑半球偏向时曾指出,类别空间关系加工的左半球偏向可能来自左半球的语言加工优势<sup>[1]</sup>。而动物被试研究获得的微弱的左半球偏向显然并非来自语言加工的脑半球优势。动物被试研究中的相反的结果是否与动物没有语言加工的半球优势有关系或者 Kosslyn 的理论不能用来解释动物的空间关系加工过程。无论如何,对动物研究所获得的不一致的证据都对 Kosslyn 的分离理论提出了挑战。

## 7 较高水平认知加工中的空间关系加工

我们对空间关系的加工不仅仅只停止在单纯的空间信息的获得、感知和低水平的加工,这种空间关系信息加工参与了其它很多更高层次的认知活动或空间行动。对空间的感知理解和信息加工似乎是人类大脑最基础和最重要的功能之一,它对人类其它众多认知活动和行动都有贡献。因此对人类较高水平认知加工中的空间关系加工的研究有助于我们进一步揭秘人类空间认知的机制。

### 7.1 表象

类别空间关系加工和数量空间关系加工的分离不仅出现在低水平的感觉或知觉加工中,并且出现在视觉表象加工中,视觉表象的产生涉及两种不同的空间关系的加工,利用类别空间关系进行的表象产生出现左半球偏向,而另一种利用数量空间关系进行的表象产生则出现右半球偏向<sup>[24]</sup>。

心理钟表任务(mental clock task)是有视觉表象过程参与的空间关系加工任务。任务要求被试在没有视觉刺激呈现的条件下通过想象钟表表盘来完成两种水平的空间关系判断:类别水平的判断要求被试判断用于构成所给的时间的分针和时针是否同时落在提示的线索区域中;数量水平的判断要求被试想象表盘上构成两个时间的两组分针和时针构成的角度哪个更大<sup>[25]</sup>。Trojano 等用 fMRI 研究了被试在完成心理钟表任务时大脑的激活区域<sup>[26]</sup>。实验数据显示,除了与视觉表象相关的区域被激活外,在类别水平的判断任务中主要激活了大脑的左半球区域,而在数量水平的判断任务中主要激活了大脑的右半球区域。

为了进一步提供在表象中两种加工分离的证据,在近期一项研究中,Trojano 等使用相同任务,运用 rTMS 方法对有表象参与的空间关系判断进行研究<sup>[27]</sup>。实验结果显示,在左后顶叶皮质接受 rTMS 刺激的被试,在类别关系表象任务中受到影响,而

在右后顶叶皮质接受 rTMS 刺激的被试, 在数量关系表象任务中受到影响。这与低水平上两种空间关系加工任务中得到的大脑半球偏向是一致的。

两种空间关系加工分离在表象产生任务中也得到了支持的证据。Reese 和 Stiles 用表象产生任务测试了成人和儿童的在表象产生中两种空间关系的分离<sup>[28]</sup>。结果显示, 采用类别策略的表象产生过程得到的是一个左半球偏向, 而采用数量策略的表象产生过程得到的是一个右半球偏向。

## 7.2 记忆

对记忆中空间关系加工的研究主要包括工作记忆和长时记忆中对物体位置的记忆。

Kessels 等人用 rTMS 刺激干预法在对空间工作记忆的研究中发现, 数量空间关系加工的反应时在右半球受到 rTMS 刺激时比在左半球受到刺激时更长, 这说明右半球更多地参与数量空间工作记忆<sup>[29]</sup>。

大多数采用 Bar-Dot 任务进行的空间关系加工的研究并没有将真实物体与空间关系相结合, 然而空间关系与真实物体相结合的空间关系判断与单纯的位置空间关系判断有一定的区别, 这种区别是造成类别和数量空间关系加工的分离出现不稳定的一个可能原因。

Kessels 等发现在空间关系与真实物体结合的空间记忆加工过程中, 左右脑半球的分工不再体现在类别和数量空间关系的分离上, 而是左半球更多地参与物体位置捆绑, 而右半球则更多地参与精确位置记忆<sup>[20]</sup>。

van Asselen 等最近用物体与空间位置关系判断结合的任务对脑损伤病人对物体位置的两种水平的空间关系记忆进行了研究, 要求病人分别记忆类别水平的空间位置关系和数量水平的空间位置关系<sup>[30]</sup>。结果显示, 单纯的空间位置记忆出现了半球偏向, 左半球损伤的病人类别空间位置记忆能力减弱了, 而右半球损伤的病人数量的空间位置记忆能力减弱了。但当空间位置记忆与物体相结合时, 即要求记忆某个物体的空间位置时, 这种半球偏向没有出现。

然而视觉空间记忆中的空间关系加工却得到了一致的脑半球偏向。Slotnick 和 Moo 用 fMRI 对视觉空间记忆中进行空间关系加工涉及的大脑区域进行扫描发现, 主要参与视觉空间记忆的前额叶皮质的激活在两种空间关系的记忆中也存在半球偏向, 即左前额叶与类别视觉空间记忆关系更紧密, 右前额叶与数量视觉空间记忆关系更紧密<sup>[31]</sup>。

## 7.3 语言

Kosslyn 最早认为类别空间关系加工的左半球

偏向很可能与左半球的语言加工优势有关<sup>[1]</sup>, 因为类别空间关系表征更多的为抽象的语言表征, 如: 上/下, 左/右等。虽然全球超过6000种的语言在表达空间关系信息时存在着多样性和差异<sup>[32,33]</sup>, 然而对存在语言表征的类别空间关系加工却涉及一些共同的大脑区域, 而这些左半球的区域与语言加工也存在着一定的关系。

Damasio 等运用 PET 扫描的研究结果显示, 当讲英语的被试命名呈现刺激中的物体之间的类别空间关系时, 左上边缘脑回 (left supramarginal gyrus SMG) 被最大程度地激活<sup>[34]</sup>。SMG 在类别空间关系加工中的作用也被脑损伤病人的研究所支持<sup>[35]</sup>。

Baciu 等在一项 fMRI 研究中报告了左角回 (left angular gyrus, AG) 在对空间关系的语言表征中的激活<sup>[14]</sup>。左上边缘脑回和左角回这两个区域是人类大脑下顶叶的两个分支区域, 而这两个区域被认为参与了多种抽象空间信息加工<sup>[36]</sup>, 这说明这两个区域的确是同时参与了言语加工和空间关系加工, 然而在猴脑中却找不到与人类的这两个区域相对应的区域<sup>[37]</sup>, 这可能因为猴脑中可能不存在对空间关系的语言加工区域。

尽管语言与空间关系表征有很密切的关系, 然而语言表征与空间关系表征也存在着一定程度的分离。这种分离表现在当对一种空间关系的语言表征不存在时 (如韩语中不存在对接触/非接触这种空间关系的表征), 这种空间关系也可以被知觉, 记忆或进行更高水平的认知加工。Munnich 等对讲英语和讲韩语的被试的空间关系加工进行了研究, 研究发现, 语言编码与知觉或记忆编码是分离的, 即语言编码不影响对空间信息的知觉和记忆, 即使语言表征中不存在表征相应空间关系的词语, 被试仍然可以对这种空间关系进行知觉或记忆的加工<sup>[38]</sup>。

虽然存在一定程度的分离, 空间关系的语言表征却能够对空间关系的知觉, 或更高水平的认知加工产生一定的影响。Levinson 报告了讲策尔塔 (Tzeltal) 语的被试很难区别刺激与刺激的镜像, 而这被认为是一种有类别空间关系加工的任务<sup>[33]</sup>。因为在策尔塔语中没有能够区别这两种刺激所需要的参照系的语言表征。这说明语言表征可以影响知觉或其它水平的认知加工。

## 7.4 空间关系加工指导的行动

空间关系加工的一个重要功能是指导人类的行动或空间活动。数量空间关系的加工与人类的行动有着紧密地联系<sup>[1]</sup>。

在空间活动中人类不仅进行类别和数量两种不同的空间关系加工, 并且会采用两种不同的空间参

照系:自我中心参照系(egocentric reference frame),和环境中心参照系(allothetic reference frame)。与类别与数量关系加工分离相似,人们也发现了两种参照系下空间认知加工在神经水平的分离<sup>[39-41]</sup>:自我中心参照系加工涉及背侧系统,而异我中心参照系则涉及腹侧系统。

然而两种参照系和两种空间关系加工是可以结合的,两种空间关系加工在两种参照系下都可以进行<sup>[42]</sup>,即:自我中心参照系下的类别空间关系加工,自我中心参照系下的数量空间关系加工,环境中心参照系下的类别空间关系加工,环境中心参照系下的数量空间关系加工。环境中心参照系下的空间关系加工提供一种稳定的不依赖于视点的信息,是一种相对类别水平的空间关系加工,更多地用来判断环境中物体间的相对位置关系。而自我参照系下的空间关系加工提供一种可变化的依赖于视点的信息,是一种较绝对的数量水平的加工,这更像数量空间关系的加工,而这种信息加工更多地用来指导直接的空间活动<sup>[43]</sup>。

Carey等用脑损伤病人D.F.作为被试对参照系与两种空间关系加工的关系及涉及的大脑区域进行了研究<sup>[44]</sup>。D.F.的背侧系统完好,而他在数量加工任务中的表现较好,这表明:数量空间关系加工存在于利用自我中心参照系的任务中,而这个任务更多地利用背侧系统加工,而类别空间关系加工存在于利用环境中心参照系的任务中,而这个任务更多地利用腹侧系统加工。

### 7.5 物体识别

一些研究者认为两种空间关系加工的分离也存在于物体识别中<sup>[45,12]</sup>。这种分离出现在识别不同类别的物体(如生物,非生物)<sup>[45-47]</sup>,或当可变形的物体(如动物)处于不同的状态时(正常或扭曲变形)<sup>[48]</sup>。

Laeng等将可变形物体在两种不同状态时作为刺激呈现给被试,一种状态为扭曲变形的,另一种正常状态是指:对这种扭曲形态熟悉后,这种状态对于被试来说属于正常状态。Laeng等认为对扭曲变形物体进行识别需要对物体各部分之间的空间关系进行类别水平的空间关系加工,因此会出现一个加工的左半球偏向,而当这种扭曲形态熟悉后,就只需要进行整体加工,这更多地涉及数量空间关系加工,因此会出现右半球偏向。实验结果与预测相一致<sup>[48]</sup>。这个结果支持物体识别中两种空间关系加工分离的存在。

物体也可以分为基础水平的物体(大的概念类别,如狗)和样例水平的物体(具体的样例,如布

列塔尼犬)。Laeng等用基础水平的物体和样例水平的物体作为刺激,对两种水平物体的识别作了比较<sup>[46]</sup>。当刺激呈现于右视野时基础水平的物体识别地更快,而当刺激呈现于左视野时样例水平的物体识别地更快。因此,基础水平的物体识别更多涉及类别空间关系加工,因此出现左半球偏向,而样例水平的物体识别更多地涉及更精确的数量空间关系的加工,因此出现右半球偏向。

Cooper和Brooks比较了对动物和基础水平物体的识别过程的差异<sup>[45]</sup>。对动物的识别出现了右半球偏向。因此,Cooper和Brooks认为对动物的识别涉及数量空间关系加工,而对基础水平的物体识别则涉及类别空间关系加工。

在最近的研究中,Låg等比较了刺激特征对生物和非生物的识别的影响<sup>[47]</sup>。实验所用的刺激包括了清晰图像刺激和模糊图像刺激。对于非生物,不仅出现了左半球偏向,并且模糊图像对非生物的识别造成了影响,这说明对非生物的识别需要利用高空间频率,而图像的清晰与模糊对生物识别却没有造成影响。这个结果暗示,非生物的识别更多地利用类别关系,而生物识别则更多地利用数量关系。

### 7.6 面孔识别

人类面孔,作为一种比较特殊的物体,对它的识别过程的研究为空间关系加工理论提供了一些一致的支持的证据。人类面孔的特殊性体现在它在类别水平的高度相似性,无论人种,人类面孔的组成包括相同的部分,并且各部分之间的关系也趋于稳定,如眼睛始终在鼻子上方,嘴始终在鼻子下方。因此,用空间关系理论来解释,人类面孔的各部分之间的类别空间关系是不变的,那么人类对不同面孔的识别就只能依赖于各部分之间的精确的数量空间关系,很明显,不同面孔的各部分之间的空间距离是不同的。因此,如果对数量空间关系加工有右半球偏向,面孔识别任务应该出现一个右半球加工优势。

一些研究采用半视野速示法让被试对呈现在左或右视野的人类面孔进行识别,结果发现,当刺激呈现于左视野(大脑右半球)时比呈现于右视野(大脑左半球)时被试的识别更快也更准确<sup>[49-51]</sup>。

对患有熟悉面孔失认证病人的研究也发现了右半球似乎比左半球在面孔识别中起着更重要的作用。患有大脑双侧损伤的病人和右半球损伤的病人存在面孔识别缺陷,而仅仅患有左半球损伤的病人则没有发现这种缺陷<sup>[52,53]</sup>。

认知神经科学的研究,如ERP,脑成像研究发

现：在面孔识别任务中，大脑右半球的颞叶皮质有明显的激活<sup>[54-58]</sup>，这进一步提供了右半球在面孔识别中存在优势的证据。

一些研究者认为，大脑右半球更偏向于加工整体的图形信息；而左半球则更偏向于加工独立的局部的信息<sup>[49,59]</sup>。这可能是造成面孔识别出现右半球优势的一个可能的原因，因为对于数量空间关系加工更多的涉及整体图形信息的加工。

## 8 不支持分离的证据以及半球偏向不稳定的因素

虽然众多研究得到了类别和数量空间关系加工在大脑左右半球的分离，然而也有相当数量的研究没有得到一致的结果，或者没有发现半球偏向，造成了分离的不稳定。这种不稳定使关于 Kosslyn 的理论的证据出现了一个略显混乱的局面。这可能和不同研究所采用的实验方法，采用的被试和使用的刺激等因素有一定的关系。

### 8.1 练习效应

Banich 和 Federmeier 的研究发现，随着练习的增多，在空间关系加工过程中被试会获得一种或多种策略，这些策略不仅包括在数量空间关系加工中使用类别加工策略，还包括运用屏幕或刺激背景上的参照点来帮助确定空间关系或位置<sup>[60]</sup>。因此，这些策略的使用会使半球偏向减弱甚至消失。

在 Kosslyn 1989 年的研究中，也曾发现了随着实验的进行，练习次数不断增多，被试获得并运用了类别加工策略或者分类的方式来对数量空间关系进行加工，这样，数量加工的右半球偏向就会被左半球偏向所取代，或者右半球偏向减弱直至被左半球偏向所掩盖了<sup>[12]</sup>。

然而类别加工策略的获得和使用似乎并不是造成半球偏向消失的唯一原因，Michimata 发现，不仅数量空间关系加工的右半球优势会随着练习的增加而消失，并且类别关系加工的左半球偏向也会随着练习的增加而消失<sup>[61]</sup>。

而在 D'epy 等 1998 和 1999 年采用动物被试的研究中，由于实验前大量的规则学习，导致任何大脑半球偏向都没有出现<sup>[22,23]</sup>。

### 8.2 任务难度

Bruyer 等认为空间关系加工的脑半球偏向并非来自于两种加工的不同，而是任务难度的影响，即大脑左右两半球偏向于处理不同难度的任务<sup>[62]</sup>。尽管 Kosslyn 之前曾用“翻转联合”的逻辑证明任务难度并不是造成半球偏向的原因<sup>[12]</sup>，但的确有研究表明任务难度会影响半球偏向的获得<sup>[7,63]</sup>。Sergent 的研究也表明，在采用 Bar-Dot 任务的量空间关

系加工中，点与棒之间的距离变化会对任务难度造成影响<sup>[7]</sup>。Parrot 等人的研究则发现了难度变化对半球偏向获得的影响<sup>[63]</sup>。较难的数量空间关系加工任务能够产生右半球偏向，而较简单的数量空间关系加工任务得到的则是左半球偏向。

### 8.3 被试左右手偏好的影响

Kosslyn 曾在早期的一项研究中比较了左利手被试和右利手被试得到空间关系加工半球优势的可能性的<sup>[12]</sup>。右利手的程度与得到空间关系加工半球偏向的可能性存在正相关，即右利手程度越大越容易出现空间关系加工的半球偏向，且这种偏向也越显著。

Laeng 和 Peters 在他们的研究中也试图比较左利手被试和右利手被试的空间关系加工的半球偏向<sup>[64]</sup>。右利手被试得到的结果与 Kosslyn 的理论相一致，而左利手的被试则没有得到半球偏向，即刺激呈现于左右两个视野时被试的表现是相同的。

### 8.4 反应方式

空间关系加工任务中的反应方式有手动反应和语音反应两种。半球偏向的获得可能并非来自于空间关系加工过程的差异，而是来自于大脑半球对两种不同反应方式的偏好。Bruyer 等发现如果采用语音反应，就会减小两种空间关系加工的大脑半球差异<sup>[62]</sup>。

### 8.5 反馈

反馈信息可以使被试对自己的表现进行改进，这在某种程度上有些类似于练习。Bruyer 等发现去除反馈信息似乎使两种空间关系加工的脑半球差异消失了，但去除反馈似乎并不会对反应的错误率和反应时造成影响<sup>[62]</sup>。

### 8.6 刺激显示特征

Kosslyn 的神经网络曾模拟了感受野的大小对两种空间关系加工的影响<sup>[5]</sup>。大脑左半球更偏向于接受来自具有较小感受野的神经元的输出，因此在高空间频率刺激信息的类别空间关系加工中出现优势。相反地，大脑右半球更偏向于接受来自具有较大感受野的神经元的输出，因此在低空间频率刺激信息的数量空间关系加工中出现优势。

不同背景和刺激组合也可以影响半球偏向的出现。大脑半球偏向只有当白色背景和黑色刺激的组合时才会出现<sup>[65]</sup>。这种对比度的影响可能与感受野和空间频率的影响相关。

Okubo 和 Michimata 在 2002 年研究了刺激中的空间频率对空间关系加工的影响，在刺激中除去低空间频率削弱了右半球加工数量空间信息的表现<sup>[66]</sup>。这个结果暗示刺激中的低空间频率是使数量关



系加工任务中右半球偏向出现的一个可能的原因。2004年,两人又对类别数量加工中的高空间频率的作用进行了更深入的研究,得到了与数量空间关系加工相对应的结果,在刺激中过滤去高空间频率削弱了左半球加工类别空间信息的表现<sup>[67]</sup>,因此刺激中的高空间频率是使类别关系加工任务中左半球偏向出现的一个可能的原因。

## 9 总结

自 Kosslyn 提出两种分离的空间关系加工系统理论以来,涉及多领域的众多研究试图用不同的方法为分离提供证据,众多获得了两种空间关系加工的脑半球偏向的研究支持了 Kosslyn 的理论:类别空间关系加工和数量空间关系加工涉及不同的大脑神经区域:类别空间关系的加工有左半球偏向,而数量空间关系的加工有右半球偏向。然而目前研究中大脑半球偏向的获得却仍然不稳定,它受到多种实验因素的影响。

两种空间关系加工的大脑半球偏向可能与人类大脑左半球的语言加工优势有一定关系,因为类别空间关系加工运用了语言表征。另一个可能的原因是大脑两半球对具有不同感受野神经元的输出信息的加工偏向,即左半球更偏向于加工来自具有小感受野神经元的输出信息,而右半球更偏向于加工来自具有大感受野神经元的输出信息。这与大脑左右半球对空间频率的加工偏向是一致的。而另一种解释是:大脑右半球更偏向于加工整体的图形的信息,而左半球则更偏向于加工局部的不连续的信息。

然而对造成大脑半球偏向的原因的研究应该得到更多的关注,并且需要更多直接针对原因的研究。因为对原因的研究有助于我们了解两种空间关系加工的分离是否存在,如果能够找到大脑半球对不同信息的加工偏好与两种空间关系加工性质之间的对应关系,那么,两种空间关系加工在大脑半球水平的分离就得到了更有力的支持证据。

得到脑半球偏向的不稳定性很可能说明这种分离至少很可能只是相对的而不是绝对的。两种空间关系的加工除了一定程度的分离外,一定还存在着某些联系。Niebauer 的一项研究提供了两种空间关系加工可能存在的一些联系,类别空间关系加工似乎是数量空间关系加工的早期阶段,并且数量空间关系加工可以受益于类别空间关系,先前的类别空间关系可以易化数量空间关系加工<sup>[68]</sup>。

空间认知是人类最基本的认知能力之一,对人类空间信息加工的研究不仅对我们了解人类这一最基本的认知能力有直接的帮助,并且对我们认识人类其它认知能力有一定的促进作用,因为人类众多

的认知活动和行动都不同程度地涉及空间信息的感知和加工。无论人类对空间关系的加工是否分为类别空间关系加工和数量空间关系加工两个不同的系统,也无论这两种加工是否涉及不同的大脑神经系统,或者这种分离的程度如何,对两种空间关系加工系统的区分对我们认识复杂的人类空间认知无疑是有好处的<sup>[69]</sup>。然而,不可否认的是,人类的大脑毕竟是一个统一的整体,两种空间关系在大脑中是如何协调和整合来处理更高水平的空间信息是我们必须探索的问题。

## 参考文献

- 1 Kosslyn S M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. *Psychological Review*, 1987, 94(2): 148~175
- 2 Kosslyn S M, Flynn R A, Amsterdam J B, et al. Components of high-level vision: A cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndromes. *Cognition*, 1990, 34(3): 203~277
- 3 游旭群, 杨治良. 视觉空间关系识别中的认知加工特性. *心理学报*, 2002, 34(4): 344~350
- 4 梁三才, 游旭群, 霍涌泉. 注意瞬脱对视觉空间关系判断的影响. *心理科学*, 2006, 29(4): 963~966
- 5 Kosslyn S M, Chabris C F, Marsolek C J, et al. Categorical versus coordinate spatial relations: computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology*, 1992, 18(2): 562~577
- 6 Kosslyn S M, Thompson W L, Gitelman D R, et al. Neural systems that encode categorical versus coordinate spatial relations: PET investigations. *Psychobiology*, 1998, 26(4): 333~347
- 7 Sergent J. Judgments of relative position and distance on representations of spatial relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1991, 17(3): 762~780
- 8 Hellige J.B, Michimata C. Categorization versus distance: Hemispheric differences for processing spatial information. *Memory & Cognition*, 1989, 17(6): 770~776
- 9 Cook N D. Correlations between input and output units in neural network. *Cognitive Science*, 1995, 19(4): 563~574
- 10 Kosslyn S M, Chabris C F, Marsolek C J, et al. On computational evidence for different types of spatial relations encoding: reply to Cook et al. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1995, 21(2): 423~431
- 11 Baker D P., Chabris C F, Kosslyn S M. Encoding Categorical and Coordinate Spatial Relations Without Input-Output Correlations: New Simulation Models. *Cognitive science*, 1999, 23(1): 33~51
- 12 Kosslyn S M, Koenig O, Barrett A, et al. Evidence for two types of spatial representations: hemispheric specialization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Perception and Performance*, 1989, 15(4): 723~735
- 13 Dunn J C, Kirsner K. Discovering functionally independent mental processes: The principle of reversed association. *Psychological review*, 1988, 95(1): 91~101
- 14 Baciú M, Koenig O, Vernier M P, et al. Categorical and

- coordinate spatial relations: fMRI evidence for hemispheric specialization. *Neuroreport*, 1999, 10(6): 1373~1383
- 15 Parrot M, Doyon B, Cardebat D. Hemispheric specialization for coordinate versus categorical spatial processing: An ERP study. *NeuroImage*, 1998, 7(4): S332
- 16 van der Lubbe Rob H J, Schölvink M L, Kenemans J L, et al. Divergence of categorical and coordinate spatial processing assessed with ERPs. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1547~1559
- 17 Sergent J. Processing of spatial relations within and between the disconnected cerebral hemispheres. *Brain*, 1999, 114(2): 1025~1043
- 18 Laeng B. Lateralization of categorical and coordinate spatial functions: a study of unilateral stroke patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1994, 6(3): 189~203
- 19 Laeng B. Constructional apraxia after left or right unilateral stroke. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1595~1606
- 20 Kessels R P, Jaap Kappelle L, de Haan E H, et al. Lateralization of spatial-memory processes in humans: evidence on spatial span, maze learning, and memory for object locations. *Neuropsychologia*, 2002, 40(8): 1465~1473
- 21 Hopkins W D, Morris R D. Laterality for visual-spatial processing in two language-trained chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Behavioral Neuroscience*, 1989, 103(2): 227~234
- 22 D'epy D, Fagot J, Vauclair J. Comparative assessment of distance processing and hemispheric specialization in humans (*Homo sapiens*) and baboons (*Papio papio*). *Brain and Cognition*, 1998, 38(2): 165~182
- 23 D'epy D, Fagot J, Vauclair J. Processing of above/below categorical spatial relations by baboons (*Papio papio*). *Behavioural Processes*, 1999, 48(1): 1~9
- 24 Kosslyn S M, Maljkovic V, Hamilton S E, et al. Two types of image generation: evidence for left and right hemisphere processes. *Neuropsychologia*, 1995, 33(11): 1485~1510
- 25 Trojano L, Grossi D, Linden D E, et al. Matching two imagined clocks: The functional anatomy of spatial analysis in the absence of visual stimulation. *Cerebral Cortex*, 2000, 10(5): 473~481
- 26 Trojano L, Grossi D, Linden D E, et al. Coordinate and categorical judgments in spatial imagery. An fMRI study. *Neuropsychologia*, 2002, 40(10): 1666~1674
- 27 Trojano L, Conson M, Maffei R, et al. Categorical and coordinate spatial processing in the imagery domain investigated by rTMS. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1569~1574
- 28 Reese C, Stiles J. Hemispheric specialization for categorical and coordinate spatial relations during an image generation task: evidence from children and adults. *Neuropsychologia*, 2005, 43(4): 517~529
- 29 Kessels R P, d'Alfonso A A, Postma A, et al. Spatial working memory performance after high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the left and right posterior parietal cortex in humans. *Neuroscience Letters*, 2000, 287(1): 68~70
- 30 van Asselen M, Kessels R P, Kappelle L J, et al. Categorical and coordinate spatial representations within object-location memory. *Cortex*, 2008, 44(3): 249~256
- 31 Slotnick S D, Moo L R. Prefrontal cortex hemispheric specialization for categorical and coordinate visual spatial memory. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1560~1568
- 32 Levinson S C, Meira S. Natural concepts in the spatial topological domain—adpositional meanings in crosslinguistic perspective: An exercise in semantic typology. *Language*, 2003, 79(3): 485~516
- 33 Levinson S C. *Space in language and cognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003. 152~154
- 34 Damasio H, Grabowski T J, Tranel D, et al. Neural correlates of naming actions and of naming spatial relations. *NeuroImage*, 2001, 13(6): 1053~1064
- 35 Tranel D, Kemmerer D. Neuroanatomical correlates of locative prepositions. *Cognitive Neuropsychology*, 2004, 21(7): 719~749
- 36 Milner A D, Goodale M A. *The visual brain in action*. Oxford, UK: Oxford University Press, 1995. 106~107
- 37 Bota M, Arbib M A. Integrating databases and expert systems for the analysis of brain structures: Connections, similarities, and homologies. *Neuroinformatics*, 2004, 2(1): 19~50
- 38 Munnich E, Landau B, Doshe B A. Spatial language and spatial representation: A cross-linguistic comparison. *Cognition*, 2001, 81(3): 171~207
- 39 Dijkerman H C, Milner A D, Carey D P. The perception and prehension of objects oriented in the depth plane. I. Effects of visual form agnosia. *Experimental Brain Research*, 1996, 112(3): 442~451
- 40 Dijkerman H C, Milner A D, Carey D P. Grasping spatial relationships: failure to demonstrate allocentric visual coding in a patient with visual form agnosia. *Consciousness and Cognition*, 1998, 7(3): 424~437
- 41 Milner A D, Paulignan Y, Dijkerman H C, et al. Paradoxical improvement of misreaching in optic ataxia: new evidence for two separate neural systems for visual localization. In: *Proceedings of Biological Sciences*, London: the Royal Society, 1999, 266(1434): 2225~2229
- 42 Murphy K, Carey D P, Goodale M A. The perception of spatial relations in a patient with visual form agnosia. *Cognitive Neuropsychology*, 1998, 15(6-8): 705~722
- 43 Carey D P, Dijkerman H C, Milner A D. Perception and action in depth. *Consciousness and Cognition*, 1998, 7(3): 438~453
- 44 Carey D P, Dijkerman H C, Murphy K J, et al. Pointing to places and spaces in a patient with visual form agnosia. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1584~1594
- 45 Cooper E E, Brooks B E. Qualitative differences in the representation of spatial relations for different object classes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2004, 30(2): 243~256
- 46 Laeng B, Zarrinpar A, Kosslyn S M. Do separate processes identify objects as exemplars versus members of basic-level categories? Evidence from hemispheric specialization. *Brain and Cognition*, 2003, 53(1): 15~27
- 47 Låg T, Hveem K, Ruud K P E, et al. The visual basis of category effects in object identification: Evidence from the visual hemifield paradigm. *Brain and Cognition*, 2006, 60(1): 1~10
- 48 Laeng B, Shah J, Kosslyn S M. Identifying objects in conventional and contorted poses: contributions of hemisphere-specific mechanisms. *Cognition*, 1999, 70(1): 53~85
- 49 Hillger L A, Koenig O. Separable mechanisms in face processing: evidence from hemispheric specialization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1991, 3(1): 42~58

- 50 Young A W, Hay D C, McWeeny K H. Right cerebral hemisphere superiority for constructing facial representations. *Neuropsychologia*, 1985, 23(2): 195~202
- 51 Hilliard R D. Hemispheric laterality effects on a facial recognition task in normal subjects. *Cortex*, 1973, 9(3): 246~256
- 52 De Renzi E. Current issues in prosopagnosia. In: Ellis, H. D., Jeeves, M. A., Newcombe, F., Young, A., (Eds.). *Aspects of face processing*. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, 243~252
- 53 De Renzi E, Prabi D, Carlesimo G A, et al. Prosopagnosia can be associated with damage confined to the right hemisphere-an MRI and PET study and a review of literature. *Neuropsychologia*, 1994, 32(8): 893~902
- 54 McCarthy G, Puce A, Gore J C, et al. Face specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1997, 9(5): 605~610
- 55 Kanwisher N, McDermott J, Chun M M. A module for the visual representation of faces. *NeuroImage*, 1996, 3: S361
- 56 Bentin S, Allison T, Puce A, et al. Electrophysiological studies of face perception in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1996, 8(6): 551~565
- 57 Haxby J V, Grady C L, Horwitz B, et al. Dissociation of object and spatial visual processing pathways in human extrastriate cortex. In: *Proceedings of the National Academy of sciences USA*, 1991, 88(5): 1621~1625
- 58 Lu S T, Hgmlmlainen M S, Hari R, et al. Seeing faces activates three separate areas outside the occipital visual cortex in man. *Neuroscience*, 1991, 43(2-3): 287~290
- 59 van Kleeck M H, Kosslyn S M. Gestalt law of perceptual organization in an embedded figures task: evidence for hemispheric specialization. *Neuropsychologia*, 1989, 27(9): 1179~1186
- 60 Banich M T, Federmeier K D. Categorical and metric spatial processes distinguished by task demands and practice. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1999, 11(2): 153~166
- 61 Michimata C. Hemispheric processing of categorical and coordinate spatial relations in vision and visual imagery. *Brain and Cognition*, 1997, 33(3): 370~387
- 62 Bruyer R, Scailquin J C, Coibion P. Dissociation between categorical and coordinate spatial computations: modulation by cerebral hemispheres, task properties, mode of response, and age. *Brain and Cognition*, 1997, 33(3): 245~277
- 63 Parrot M, Doyon B, Démonet J F, et al. Hemispheric preponderance in categorical and coordinate visual processes. *Neuropsychologia*, 1999, 37(11): 1215~1225
- 64 Laeng B, Peters M. Cerebral lateralization for the processing of spatial coordinates and categories in left- and right-handers. *Neuropsychologia*, 1995, 33(4): 421~439
- 65 Wilkinson D, Donnelly N. The role of stimulus factors in making categorical and coordinate spatial judgements. *Brain and Cognition*, 1999, 39(3): 171~185
- 66 Okubo M, Michimata C. Hemispheric processing of categorical and coordinate spatial relations in the absence of low spatial frequencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002, 14(2): 291~297
- 67 Okubo M, Michimata C. The Role of High Spatial Frequency in Hemispheric Processing of Categorical and Coordinate Spatial relations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2004, 16(9): 1576~1582
- 68 Niebauer C. A possible connection between categorical and coordinate spatial relation representation. *Brain and Cognition*, 2001, 47(3): 434~445
- 69 Kosslyn S M. You can play 20 questions with nature and win: categorical versus coordinate spatial relations as a case study. *Neuropsychologia*, 2006, 44(9): 1519~1523

## The Dissociation Between Categorical and Coordinate Spatial Relation Processing Systems: Evidence from Multi-Domain Studies

ZHANG Yu, YOU Xu-Qun

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

**Abstract:** Kosslyn suggested that there are two distinct spatial relation processing systems which are Categorical spatial relation processing subsystem and Coordinate relation processing subsystem. As well as a functional dissociation between the two subsystems, there is a neural-level dissociation between the hardware of brain circuits involving this two types of processing, which can be indicated by brain hemisphere specialization. The left hemisphere is specialized for coding categorical spatial relations, whereas the right hemisphere is specialized for coding coordinate spatial relations. This article reviews studies extending from low-level spatial perception into multiple domains including spatial relation processing in visual mental imagery, memory, language, motor action and object identification etc., in which diverse methodologies are adopted: visual half field methodology, neural network simulation, PET, fMRI, ERP, rTMS, studies with brain damaged patients and comparative animal study. In general, it can be summarized that, although hemisphere specialization provides convergent evidence for the neural-level dissociation of categorical and coordinate spatial relation processing systems, the obtaining of hemisphere specialization in various studies is unstable and sensitive to methodological factors. The reason for the dissociation, however, is still open for debate, although it appeared to be linked with the hemispheric specialization for processing the output of neurons with different receptive field properties.

**Keywords:** categorical spatial relation processing; coordinate relation processing; hemisphere specialization; dissociation