

## 物体位置与空间关系的心理表征

赵民涛

(中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101) (中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 外界环境中物体位置与空间关系在记忆中如何表征,一直是空间认知研究领域探讨和争论的热点问题。该文从空间表征的参照框架、朝向特异性、组织结构和存储内容四个方面,系统回顾了近年来对空间表征形成机制与内在特征的理论探讨。在此基础上,进一步讨论了当前空间表征研究中存在的生态效度问题,以及以后将虚拟环境技术引入到空间认知研究中的发展趋势。

**关键词** 空间表征,空间参照系,朝向特异性,路径知识表征,结构知识表征。

**分类号** B842

物体位置与空间关系在记忆中的心理表征,已经日益成为当前许多学科关注的热点问题。深入理解外界环境信息形成空间表征的认知机制与特征,不仅可以增进对人脑空间记忆和空间巡航能力的认识,而且在城市交通与应急逃生系统的规划、复杂人机系统交互界面的设计,以及智能机器人自主巡航系统的开发等方面也有着重大的应用价值。

近年来,随着功能磁共振成像(fMRI)和虚拟现实(virtual reality, VR)技术的应用,人们对空间表征的研究逐渐从认知行为表现<sup>[1-3]</sup>延伸到神经生理水平<sup>[4,5]</sup>,研究范围也从简单的实验室人工环境<sup>[6,7]</sup>逐步扩展到较为复杂的自然环境(如校园、公园和城市等)<sup>[8]</sup>和虚拟环境<sup>[3,4,9]</sup>。研究视角涵盖了空间表征的参照框架、朝向特异性、组织结构、表征形式、存储内容、机器模拟以及神经机制等各个方面。本文将从其中四个重要方面,系统回顾近年来对物体位置与空间关系的心理表征的探讨与争论,并对其简单评价。然后,在总结已有空间表征研究的主要轮廓与初步结论的基础上,结合当前研究中存在的相关问题,对以后空间表征研究的趋势进行了简单的讨论。

### 1 空间表征的参照框架:自我参照系表征与环境参照系表征

环境中物体的位置和空间关系总是相对于特

定空间参照框架(如经纬度坐标系、笛卡儿坐标系或者极坐标系等)来确定的,空间记忆中物体位置与空间关系的心理表征也同样需要选择特定的空间参照系。Klatzky<sup>[10]</sup>和Newcombe<sup>[11]</sup>将表征物体位置与空间关系的参照框架分成两类:自我参照系和环境参照系。在自我参照系表征(egocentric representation)中,物体的位置是相对于观察者(如眼睛、头和躯体等)来表征的,随着观察者的运动,空间表征也在不断的更新。而在环境参照系表征(alloentric representation)中,物体的位置是相对于环境中其他物体(如标志性建筑、主要道路等)来表征的。自我参照系表征强调物体的位置表征是瞬间的而且不断更新的,物体之间空间关系不是直接表征在记忆中,而是通过物体相对于观察者的位置计算出来的。环境参照系表征则认为,物体位置与空间关系都被表征在记忆中,而且是持久和稳定的。

Wang 和 Spelke 认为,物体位置在记忆中是以自我参照系来表征的<sup>[2,12]</sup>。在其中一项系列实验研究中,被试首先学习房间中六个物体的位置,然后分别在自主转动、迷向(disorientation)和重新定向(reorientation)条件下完成物体位置指向任务。结果发现,与自主转动和重新定向条件相比,被试在迷向情况下对物体空间结构关系的提取准确性明显变差。他们由此认为被试形成的是基于自我参照系的空间表征,因为在自主运动过程中,被试可以较为准确的更新物体相对于自己的位置表征。而在迷向情况下,这种动态更新过程因为自我朝向感

收稿日期: 2005-06-28

通讯作者: 赵民涛, E-mail: zhaomt@psych.ac.cn

的丧失而中断,因此被试不能再依靠动态更新的自我参照系表征来完成位置指向任务,从而造成指向错误和物体空间结构关系错误(configuration error)的增加。关于物体与环境参照系的关系,虽然他们认为个体可以形成对环境几何信息(environmental geometry)的表征,而且这种表征对于重新定向非常重要<sup>[13]</sup>,但他们却认为个体并没有形成相对于环境参照系的物体之间空间关系的表征。

在对半侧忽略症(hemisphere neglect)病人的实验研究中,也发现了支持物体位置自我参照系表征的证据。比如,某些类型的半侧忽略病人总是忽略(觉察不到)其左侧的物体,但其对左右空间的划分却是随着头、眼睛或者身体的转动而相应变化<sup>[14]</sup>。Graziano等人也发现,在额叶腹侧前运动区存在着基于肢体的空间信息参照框架。在这个框架中,视觉—触觉双模神经元的视觉感受野随着肢体或面部的移动而相应变化<sup>[15]</sup>。这表明,至少在知觉层次上,存在着以自我为参照系的空间表征。

McNamara及其同事的研究则认为,环境中物体位置与空间关系是以环境本身的内在参照系(intrinsic frames of reference)来表征的<sup>[1,16-18]</sup>。Mou和McNamara的研究成功地分离了场景本身的内在参照系与观察者视线对物体位置与空间关系表征的影响,提供了个体可以形成非自我中心的(non-egocentric)空间表征的实验证据<sup>[16]</sup>。Shelton和McNamara的研究则系统考察了影响内在参照系选择的因素,如整体与局部环境信息、观察视角、学习顺序等<sup>[1]</sup>。Mou和McNamara等人的最近研究则进一步表明,与环境中物体位置和相互空间关系的心理表征一样,观察者自身的位置和朝向也是相对于内在参照系来表征的<sup>[18]</sup>。除非遇到更为明显和突出的新的内在参照系,已经形成的空间表征是不会随着人的自主运动而更新的。关于物体相对于观察者的空间关系,他们认为这种空间关系仅在知觉水平(perceptual level)表征,以帮助个体完成实时空间任务(如抓握东西、避开障碍物等),但在没有知觉支持或主动复述(rehearsal)时会很快消退。Werner和Schmidt的工作也表明,在大范围自然环境中,物体位置也是以环境的内在参照系来表征的。在他们的实验中,被试对标志性建筑物位置的表征是基于街道网络(street grids)而非自我中心朝向的<sup>[8]</sup>。

物体位置与空间关系相对于环境参照系来表

征,也获得了认知神经科学研究的实验支持。如在Ekstrom等的研究中,结合虚拟环境和单细胞记录技术,他们发现,只要被试到达虚拟城市中的特定位置,集结于海马和海马旁回的“位置神经元”(place cells)就会有剧烈放电反应,而且不受被试面朝哪个方向的影响<sup>[19]</sup>。Burgess和O'Keef高度评价了这个研究发现,并将其作为有力证据来支持物体位置和空间关系是基于环境参照系表征的认知地图(cognitive map)理论<sup>[20]</sup>。

外界环境中物体的位置与相互空间关系在记忆中究竟以自我参照系表征还是以环境本身的内在参照系表征的,目前仍然存在着理论争论。Newcombe认为<sup>[11]</sup>,自我中心参照系表征在没有较多感觉信息输入的特殊情况下(如在黑暗环境中或者没有区别性特征的环境中)优于环境参照系表征;但当环境特征信息存在并可以被感知到的情况下,环境参照系表征要优于自我参照系表征。因为,自我参照系表征有两个难以克服的弱点,一是物体空间关系是通过物体相对于观察者的表征计算出来的,而不是象环境参照系表征那样直接存贮在空间记忆之中,因而更易于出现错误;另一点是自我参照系表征不如环境参照系表征那样稳定和持久,从而可以允许个体在较长的时间范围内(如数月或数年后)恢复和提取物体位置与空间关系的信息。另外,表征的目的性,如用于空间巡航(spatial navigation)还是用于引导动作行为(action guidance),以及表征的环境尺度等可能都会影响空间记忆中不同参照框架的选择。

## 2 空间表征的朝向特异性:朝向独立性表征与朝向依赖性表征

空间表征的朝向特异性(orientation specificity),指的是环境中物体的位置和空间关系的心理表征是否具有特定的优势朝向。针对这个问题,不同研究者分别提出了空间表征独立于朝向(orientation-free)和空间表征依赖于朝向(orientation-specific)两种观点。前者认为表征环境中物体位置的空间参照系是没有特定朝向的,空间表征中的信息可以在任意朝向上被同等程度的提取和通达<sup>[3,21,22]</sup>;后者则提出环境中客体之间的空间关系是表征在特定朝向空间参照系之中的,在不同的提取朝向上,空间表征中的信息提取和通达的程度不同,空间表征本身存在着提取更为准确、

通达更为迅速的优势朝向<sup>[1,7,17]</sup>。

Presson 及其同事较早提出了空间表征的朝向特异性问题,并且提供了空间表征独立于朝向的实验证据<sup>[21]</sup>。在实验中,他们首先让被试学习简单路径,然后让被试站在四个标志地点中的一点上,面向或背对着初始学习朝向,判断其他标志地点的位置。结果表明,被试的判断准确性在两种提取朝向上没有差别。Presson 等人据此认为,被试可以通过单一视角学习形成不依赖于特定朝向的空间表征。Sholl 和同事也在复杂的控制条件下观察到了空间表征独立于朝向的实验证据,并进一步在其自我—物体关系表征 (self-to-object system) 和物体—物体关系表征 (object-to-object system) 双系统模型中提出,基于环境参照系的物体—物体关系表征是不依赖于特定朝向的<sup>[22]</sup>。

Sun 等人最近利用沉浸式虚拟现实技术 (immersive VR) 得到了虚拟环境中物体位置表征独立于朝向的实验证据<sup>[3]</sup>。他们让被试沿着虚拟建筑中的走廊记忆标志性物体在虚拟环境中的位置,然后在虚拟走廊中的特定位置让被试面向或背对初始学习朝向,判断不同标志物体的位置。结果与 Presson 等人一致,被试的判断成绩并不受其在虚拟环境中的提取朝向的影响。

另一方面,物体位置与空间关系的心理表征依赖于特定朝向的观点近年来得到了越来越多的实验证据的支持。早期的实验证据主要来自 Reiser 的经典研究<sup>[6]</sup>,他发现当想象朝向与学习朝向一致时,被试提取空间信息比两者不一致时更为准确和迅速。对于 Presson 等人的实验结果,McNamara 认为其难以被重复,并且提供了一系列支持空间表征依赖于特定朝向的实验证据<sup>[17]</sup>。这些实验证据表明:个体对实验室人工路径与物体布局的表征<sup>[1,7]</sup>,对大尺度自然环境中物体位置与空间关系的表征<sup>[8]</sup>,对非视觉输入的物体空间信息的表征<sup>[23]</sup>,对单一与多朝向经验下的物体位置的空间表征<sup>[1]</sup>等都是依赖于特定朝向的。在 Shelton 和 McNamara 的实验<sup>[1]</sup>中,被试从两个相差 135 度的观察视线学习矩形房间中物体的位置,然后完成相对位置判断任务,结果只有与房间结构一致的学习朝向被表征。在与房间结构不一致的学习朝向上,被试的判断准确性明显低于在和房间结构一致的学习朝向上的成绩,而且与未曾学习的新颖朝向上的判断成绩没有差别。在其实验七中,即使在没有任何外界参照线索的条件下从多

个观察视角学习物体的位置,被试仍然没有形成独立于朝向的空间表征,而是形成了依赖于初始观察朝向的心理表征。

King 等人的研究则为物体位置与空间关系的心理表征依赖于特定朝向的观点提供了认知神经科学研究的支持性证据<sup>[5]</sup>。在其实验中,具有记忆障碍症状的被试 Jon 对虚拟场景中物体位置的记忆成绩,在学习与测试视角转换的条件下 (shifted viewpoint) 明显差于在相同视角条件下 (same viewpoint) 的成绩。King 等人认为 Jon 受到损伤的海马组织是造成这种差异的原因,并进而提出海马是完成空间表征中视点朝向转换的神经基础。

目前来看,更多的实验证据是支持空间表征依赖于特定朝向的观点的。但这一观点要成为确定性的结论还必须加以调整,以使其可以同时解释上述不同的实验结果。McNamara 及其同事提出的空间表征依赖于内在参照系的理论,为该问题的解决提供了一个较好的尝试。因为支持空间表征独立于朝向的实验证据大多来自被试在两个相对朝向上的相同表现,而这两个朝向则是内在参照系中同一参照轴的两个方向。如果物体位置与空间关系是以环境本身的内在参照系来表征的话,被试在同一内在轴向上有相同表现也不能被看作是支持表征独立于朝向的实验证据。另外,由于环境本身的内在参照系很多(如颜色、形状等物理属性构成的参照系,物体的重要性或者物体之间意义联系构成的参照系,以及单纯的空间几何结构信息构成的参照系等),不同参照系之间内在轴的朝向(优势朝向)也不相同,空间表征最终以哪些方向作为优势朝向仍然是需要进一步探讨的问题。

### 3 空间表征的组织结构:层级性表征与分离性表征

局部环境(如卧室、街区、城市等)的空间表征,通过一定的结构方式才整合成为可以指导个体空间活动的完整空间知识。空间表征在记忆中究竟如何组织,才能同时兼顾知识存储的认知经济性和空间信息提取的灵活有效性。早期的研究一致认为空间表征是按层级性结构 (hierarchical organization) 整合在一起的<sup>[24]</sup>。即环境中不同尺度范围或者不同地理单元的信息是按层级来表征的,越是细节的空间信息被表征在越低的层级上。对小范围环境的低层次表征,隶属于对包含它的大范围

环境的高层级表征,不同层级表征之间存在着直接的联系,类似概念表征的层次网络模型。但也有研究者认为,空间表征是相对独立(independent)和分离(fragmented)的。新形成的物体位置与空间关系的心理表征未必被整合在已经形成的空间表征中,不同表征之间(如不同地理单元环境信息的表征,先后获得的环境信息的空间表征等)并不必然存在直接的联系<sup>[25]</sup>。

Ferguson 和 Hegarty<sup>[26]</sup>以及 Taylor 和 Tversky<sup>[27]</sup>分别给出实验证据表明,从文本描述和观察地图中形成的空间表征是按层级性结构组织起来的。如在 Taylor 和 Tversky 的实验中,被试分别带着重新画图或者给别人描述的任务学习地图上不同物体的空间位置关系,然后在测验中让被试同时完成两个任务<sup>[27]</sup>。对被试在画图和描述任务中物体的回忆顺序进行树状图式分析表明,不同区域物体的空间信息具有明显的组块(chunking)或会聚(clustering)效应,显示出层级性表征的特征。而且这种层级性表征以类似的模式出现在画图和描述任务中。Voicu 则从计算神经网络的研究途径,给出了空间表征按照层级性组织的证据<sup>[28]</sup>。他们建立的基于层级性组织的神经网络模型,不仅很好的拟合了 McNamara 等人<sup>[24]</sup>的行为实验结果,还很好的预测了距离判断任务受表征层级结构影响的实验结果。即跨层级物体间的距离易被高估,而同一层级内物体间的距离总被相对低估。这都说明空间记忆中环境信息的心理表征受其层级结构的影响。

而 Wang 等人则发现,被试可以很容易的形成对新环境的精确空间表征,但却没有将其与已经形成的空间表征整合在一起<sup>[25]</sup>。而且,他们还发现,个体不能同时追踪两个不同层级环境表征(如房间中不同物体与大楼中的不同房间)。在此基础上,Wang 等人认为不同环境表征之间并不存在直接的相互联系,而是相对独立和分离的。随着个体位置的不断变化,实时(on-line)的空间表征通过转换(switching)过程不断的被更新。个体通达某一级级表征的同时,也便失去了对另一层级表征的追踪。

在他们的视角转换实验中<sup>[29]</sup>,被试首先学习相邻层级环境中物体的位置(如办公室内的不同物体与大楼内的不同办公室),然后分别在相同环境内转换视角和不同环境间转换视角两种条件下,完成物体相对位置判断任务。结果发现,被试在不同环

境间转换视角条件下做出正确判断的反应显著的快于同一环境内视角转换条件下的判断反应。而且,不管是从低层级转到高层级空间表征还是从高层级转到低层级空间表征,反应模式并不受影响。这也是与层级性表征观点的理论预测相冲突的。因为按照层级性观点,高层级表征中采用的视角对低层级表征中的视角选择应该具有直接的影响作用。在关于空间表征更新的研究中,Wang 和 Brokemole 也发现,被试不能同时更新自己周围不同层级的多重环境(nested environments)的空间表征<sup>[30]</sup>。以上结果使 Wang 和同事认为,空间表征在记忆中是相对分离的,表征的通达更多的依赖于个体当前的位置与任务。

从以上回顾可以看出,支持空间表征按层级性结构组织起来的实验证据,多来自从语言描述、地图学习或者对人工环境学习记忆后形成的空间表征。而支持环境空间信息分离性表征的实验证据,则多是对个体直接经历或者比较熟悉的自然环境形成的空间表征进行的研究。因而,熟悉性与学习方式是否也会对空间表征的组织结构产生影响,是值得进一步探究的问题。另外,支持双方观点的证据来自不同的测试范式,这也是在考察空间表征的组织结构时应该剔除的影响因素。因为在环境中对个体可以直接知觉到的环境表征进行测试,与在实验室对个体想象或者回忆的环境表征进行测试具有很大差别。前者更容易受到知觉因素的干扰,而影响对记忆表征测试的纯粹性。尽管目前多数研究者认为个体对局部环境表征的组织具有层级性特征,但不同层级之间是否具有必然的直接联系与影响,以及同一层级内不同表征之间如何转换,仍需要更深入的探讨才能解答。

#### 4 空间表征的存储内容:路径知识表征与结构知识表征

根据形成空间表征的存储信息及其知识来源的不同,空间表征可以分为路径知识表征(route knowledge)和结构知识表征(survey or configuration knowledge)两种<sup>[31]</sup>。路径知识表征主要来源于个体在环境中的直接经验,储存的是个体直接经历过的标志物序列和与之相关的身体转向信息(如先沿某条路直行,然后在某个交叉路口向左转等)。路径知识表征对个体在熟悉环境中运动的导航非常有效,但较为刻板,因为不在固定路径上的标志物

之间的空间关系要通过计算才能获得,所以不能很好的支持对新路径或者捷径的导航。而结构知识表征则主要来源于地图学习与文本描述,储存的是外界环境的空间拓扑结构信息(topographic properties)和不同标志物之间的相互空间关系,仿佛存在于大脑中的“地图”。与路径知识表征不同,结构知识表征中不同路径和标志物之间的位置信息和空间关系是可以被直接提取的,因而较为灵活,对个体在新颖环境中的导航更为有效。

路径知识表征与结构知识表征存储着不同类型的空间信息,不仅积累了大量行为研究的实验证据,也得到了近年来脑功能成像研究的实验支持。行为研究方面,如 Rossano 等人让被试通过学习地图或者直接游历来记忆环境中物体的位置与空间关系信息,然后进行多种空间定向与空间推理任务测试<sup>[32]</sup>,结果发现,两者在执行不同空间任务时存在着明显的行为模式差异。直接游历组被试在路径距离估计、路径寻找等任务上成绩显著好于地图学习组,而地图学习组被试则在直线距离估计、标志物空间定向等任务上好于直接游历组。脑神经机制方面, Shelton 和 Gabrili 的研究<sup>[33]</sup>和 Mellet 等人的工作<sup>[34]</sup>则分别从空间信息的编码和提取阶段上观察到了两种知识表征激活不同脑区的实验证据。如 Mellet 等人通过想象游历任务,让被试回忆先前通过直接游览或者地图学习获得的空间知识,结果发现,在两种学习条件下右侧海马都有参与,但直接游览组的被试还激活了双侧的海马旁回,而地图学习组则没有。

另一方面,在直接巡航经历是否可以形成结构知识表征,以及空间表征是否遵循从路径知识表征到结构知识表征的发展顺序上,目前仍然存在着分歧与争论。尽管有大量研究表明,长时间的游历经验可以形成类似于地图学习的结构知识表征,但 Moser 却提供了相反的证据<sup>[31]</sup>。他们在实验中要求被试绘制其非常熟悉的环境的示意图,结果发现没有人可以准确绘制出环境的布局图,超过 50% 的物体被放在错误的位置上。最近, Foo 等人则根据被试在虚拟环境中寻路时有规律的(甚至是错误的)依赖于标志物的实验结果,认为个体并不能通过直接的游历形成表征物体空间关系的认知地图,即单纯的路径整合策略(path integration)并不能让被试形成结构知识表征<sup>[9]</sup>。Bennett 则提出摒弃认知地图概念的想法<sup>[35]</sup>,因为已有的支持认知地图的实验证

据都不能排除使用标志物再认(landmark recognition)等简单机制的可能性。因此,个体究竟是通过其稳定的结构知识表征,还是通过相对固定的外在标志物序列来进行空间导航或者发现新路径的,还需要进一步研究才能给出解答。

另外,环境范围的尺度大小也可能会影响空间记忆中形成的是结构知识表征还是路径知识表征。因为,对于较大范围的环境,其空间信息多来自于翻阅地图或文本描述;而对于可直接交互与直接巡航的小范围环境,个体空间表征则更多来自于直接经验。个体怎样完成从直接巡航得到的路径知识表征到更为灵活的结构知识表征的转变,目前还了解不多。虽然有研究表明,儿童空间表征的发展遵循从标志物记忆到路径知识表征再到结构知识表征的发展框架,但也有证据表明,对成人被试来说,两种空间表征在形成和发展上具有一定的相互独立性。而且,个体在自然状态下,对同一种环境往往有不止一种的空间信息来源(如地图、直接经验、空中俯瞰以及他人描述等等),各种不同来源的空间信息在空间记忆中如何相互作用以影响空间表征的形成,也是一个值得探讨的问题。

## 5 小结与展望

外界环境中物体的位置与空间关系在记忆中如何表征,一直是空间认知研究领域备受关注的热点问题。近年来,涉及空间表征参照框架、朝向特异性、组织结构、表征形式、存储内容以及神经机制等方面的大量研究,进一步丰富和深化了人们对空间表征基本属性的认识和理解。但是,就上述争论而言,目前要得出关于空间表征的整合和统一观点还很困难。

从已有实验证据来看,试图将环境中物体位置与空间关系表征在单一参照框架内的努力面临着严峻的挑战。因为不论是在行为水平还是认知神经机制研究中,都是既有证据支持存在感知-运动水平上的自我参照系表征,也有证据支持长时记忆水平上的环境参照系表征,两者涉及不同的脑区(如额叶腹侧前运动区和海马),而且可能受到不同任务指向性(如协调动作与空间导航)的影响。在空间表征的朝向特异性上,支持空间表征独立于朝向的实验证据正逐渐被空间表征依赖于朝向的新观点所容纳和解释,而且相对缺乏脑神经机制研究的支持。因而,个体对位置和空间关系的表征可能更

类似于对物体或形状的特征,是依赖于特定的朝向的。外界参照环境、自我视线以及环境本身的内在参照系都会影响这种优势朝向的选取。在空间表征的组织结构上,个体对从语言、地图以及直接观察物体场景中获得的特征都表现出了明显的层级结构关系,并且在计算机模拟中得到了进一步支持。但不同层级之间是否有直接联系,以及同一层级内部不同特征的转换问题,仍然需要更深入的研究才能解答。在空间表征的存储内容上,个体特征的是路径知识还是结构知识,可能受到目的指向性、空间信息来源(地图还是直接经验)以及环境熟悉性等因素的影响。大量证据表明地图学习是结构知识表征的重要条件,而直接游历则容易形成较好的路径知识表征。Hartley 等人最近的研究也发现,人基于路径知识和基于结构知识的空间巡航活动是分别由尾状核(caudate)和海马(hippocampus)负责的<sup>[36]</sup>。但直接的游历经验是否必然让个体形成类似地图的结构知识表征仍然是一个等待解答的问题。

应当指出的是,注重实验研究的生态效度(ecological validity)和注重行为与脑神经机制的整合,已经成为当前空间认知研究的主要趋势。生态效度方面,虽然已有研究中也有研究者使用了大尺度的自然环境(如城市、公园或者校园),但更多的研究结论则来自于严格控制的实验室研究。行为与脑神经机制整合方面,功能磁共振成像和事件相关电位(ERP)等常用研究手段则对被试身体运动有着较为严格的限制,这使探讨自然状态下空间表征的认知神经机制变得相对比较困难。对此,Loomis<sup>[37]</sup>和 Tar(2002)等人<sup>[38]</sup>提出,使用高度仿真的虚拟环境技术,可以在逼真模拟自然环境的同时对其进行有效的主动控制,进而同时实现空间认知研究的生态效度和控制性功能。目前,这一主张正在得到越来越多的研究者的支持和国际权威科学杂志的认可。Maguire<sup>[4]</sup>和 Ekstrom 等人<sup>[19]</sup>将脑成像、电生理技术与虚拟环境相结合的经典工作,无疑为空间表征研究开拓了全新的研究范式和广阔的研究前景。

#### 参考文献

- [1] Shelton A L, McNamara T P. Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, 2001, 43: 274-310
- [2] Wang R F, Spelke E S. Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 2000, 77: 215-250
- [3] Sun H J, Chan G S W, Campos J L. Active navigation and orientation-free spatial representations. *Memory & Cognition*, 2004, 32: 51-71
- [4] Maguire E A, Burgess N, Donnett J G, et al. Knowing where and getting there: a human navigation network. *Science*, 1998, 280: 921-924
- [5] King J A, Burgess N, Hartley T, et al. Human Hippocampus and Viewpoint Dependence in Spatial Memory. *Hippocampus*, 2003, 12: 811-820
- [6] Rieser J J. Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1989, 15: 1157-1165
- [7] Roskos-Ewoldsen B, McNamara T P, Shelton A L. Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1998, 24: 215-226
- [8] Werner S, Schmidt K. Environmental frames of reference for large-scale spaces. *Spatial cognition and computation*, 1999, 1: 447-473
- [9] Foo P, Warren W H, Duchon A, et al. Do humans integrate routes into a cognitive map? map- versus landmark-based navigation of novel shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2005, 31: 195-215
- [10] Klatzky R L. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In: Freksa C, Habel C, Wender K.(Eds.) *Spatial Cognition: An interdisciplinary approach to representing and processing spatial knowledge*. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 1-17
- [11] Newcombe N S. Spatial cognition. In: Medin D. (Ed.) *Cognition Volume, Stevens' Handbook of Experimental Psychology (3<sup>rd</sup> Edition)*. New York: John Wiley, 2002. 113-163
- [12] Wang R F, Spelke E S. Human spatial representation: insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences*, 2002, 6: 376-382
- [13] Hermer L, Spelke E S. A geometric process for spatial reorientation in young children. *Nature*, 1994, 370: 57-59
- [14] Behrmann M. Spatial reference frames and hemispatial neglect. In: Gazzaniga M S. (Ed.) *The New Cognitive Neurosciences (2<sup>nd</sup> Edition)*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000. 651-666
- [15] Graziano M S A, Hu X T, Gross C G. Coding the locations of objects in the dark. *Science*, 1997, 277: 239-241
- [16] Mou W, McNamara T P. Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 2002, 28: 162-170
- [17] McNamara T P. How are the locations of objects in the environment represented in memory? In: Freksa C, Brauer W, Habel C, Wender K. (Eds.) *Spatial cognition III: Routes and navigation, human memory and learning, spatial*

- representation and spatial reasoning. New York: Springer, 2003. 174~191
- [18] Mou W, McNamara T P, Valiquette C M. Allocentric and egocentric updating of spatial memory. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 2004, 30: 142~157
- [19] Ekstrom A D, Kahana M J, Caplan J B, et al. Cellular networks underlying human spatial navigation. *Nature*, 2003, 425: 184~187
- [20] Burgess N, O'Keefe J. Neural representations in human spatial memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 2003, 7: 517~519
- [21] Presson C C, Delange N, Hazelrigg M D. Orientation specificity in spatial memory: what makes a path different from a map of the path? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1989, 15: 887~897
- [22] Sholl M J, Nolin T L. Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1997, 23: 1494~1507
- [23] Shelton A L, McNamara T P. Visual memories from nonvisual experiences. *Psychological Science*, 2001, 12: 343~347
- [24] McNamara T P, Hardy J K, Hirtle S C. Subjective hierarchies in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1989, 15: 211~227
- [25] Wang R F, Brockmole J R. Human navigation in nested environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 2003, 29: 398~404
- [26] Ferguson E L, Hegarty M. Properties of cognitive maps constructed from texts. *Memory & Cognition*, 1994, 22: 455~473
- [27] Taylor H A, Tversky B. Descriptions and depictions of environments. *Memory & Cognition*, 1992, 20: 483~496
- [28] Voicu H. Hierarchical cognitive maps. *Neural Networks*, 2003, 16: 569~576
- [29] Brokemole J R, Wang R F. Change perspective within and across environments. *Cognition*, 2003, 87: B59~B67
- [30] Wang R F, Brockmole J R. Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2003, 10, 981~986
- [31] Montello D R, Waller D, Hegarty M, et al. Spatial memory of real environments, virtual environments, and maps. In G. L. Allen (Ed.) *Human spatial memory: remembering where*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2004. 251~285
- [32] Rossano M J, West S O, Robertson T J et al. The acquisition of route and survey knowledge from computer models. *Journal of Environmental Psychology*, 1999, 19:101~115
- [33] Shelton A L, Gabrieli J D E. Neural correlates of encoding space from route and survey perspectives. *The Journal of Neuroscience*, 2002, 22: 2711~2717
- [34] Mellet E S, Bricogne S, Tzourio-Mazoyer, et al. Neural correlates of topographic mental exploration: The impact of route versus survey perspective learning. *Neuroimage*, 2000, 12: 588~600
- [35] Bennett A T D. Do animals have cognitive maps? *The Journal of Experimental Biology*, 1996, 199: 219~224
- [36] Harteley T, Maguire E A, Spiers H J, et al. The well-worn route and the path less traveled: distinct neural bases of route following and wayfinding in humans. *Neuron*, 2003, 37: 877~888
- [37] Loomis J M, Blascovich J J. Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 1999, 31: 557~564
- [38] Tar M J, Warren W H. Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience (supplement)*, 2002, 5: 1089~1092

## Mental Representation of Locations and Spatial Relations of Objects

Zhao Mintao

(State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** How are the locations and spatial relations of objects in the environments represented in memory has been a hot issue investigated and disputed in spatial cognition research. Previous works on four features of spatial representation including spatial reference frames, orientation specificity, structure of organization, and represented contents are reviewed in this paper. The ecological validity problem in laboratory research and the trends of incorporating virtual reality (VR) and neuroimaging techniques in spatial representation research are discussed based on the review.

**Key words:** spatial representation, spatial reference frames, orientation specificity, route knowledge, survey or configuration knowledge.