

对想象环境的空间更新*

肖承丽 刘传军

(南京大学社会学院心理学系, 南京 210023)

摘要 学界传统上将空间更新定义为个体随着身体运动对其所处真实环境空间表征的自动更新过程, 然而近年来有研究发现个体还可以对想象环境进行空间更新, 但其机制尚不明确。本研究实验 1 被试站在场景内学习物体空间位置之后, 保持学习朝向直线走到测试位置。其中, 0 度组保持学习朝向站立, 180 度组原地转动 180 度, 面对学习朝向的相反方向站立。两组被试均想象自己仍然站在学习位置, 面对学习朝向。然后被试旋转 90 度, 从 3 个想象朝向(记忆一致朝向、感觉运动一致朝向和不一致朝向)完成空间判断任务。结果发现 0 度组记忆一致朝向和感觉运动一致朝向成绩均优于不一致朝向, 而 180 度组无此优势。实验 2 被试从学习空间移动到测试空间过程中被迷向, 其他条件与实验 1 的 180 度组相同。但是, 实验 2 被试在记忆一致朝向和感觉运动一致朝向的成绩均优于不一致朝向。结果证明人们可以通过对在线空间表征进行想象平移或将离线记忆与空间更新系统相联结两种方式, 对想象环境进行空间更新。

关键词 空间更新; 空间想象; 双系统加工; 一致效应; 迷向

分类号 B842

1 引言

对于生存在三维空间的人类来说, 每天最为频繁的经验之一就是空间更新。空间更新, 指的是个体在运动时对周围物体相对于自己身体位置和朝向的自动化的更新过程。比如, 你坐在办公室的电脑前写论文, 这时候突然有人敲门, 你起身去开门, 几乎不需要任何认知努力, 你自然而然地知道电脑位于你的身后。但是, 假如你坐在电脑前方不动, 试着回答“如果我站在办公室门口电脑应该在我身体的哪个方向”, 你会发现自己需要想一想才能得到答案。当前大多数的理论均认为, 由于个体身体运动导致的空间更新是实时的、自动化的, 其发生机制基于在线的空间更新系统, 在这个系统中, 个体时刻表征着周围环境中各个物体相对于自己的空间位置, 并在个体运动时不断计算和更新周围物体相对于自身的空间表征, 这种计算自动发生, 几乎不消耗认知资源(Avraamides & Kelly, 2008; Burgess, 2006; Mou, Fan, McNamara, & Owen, 2008;

Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2002)。需要强调的是, 空间更新并非完全依赖对周围环境的视觉信号输入。即使在没有视觉信号输入的情况下(比如突然停电的晚上在房间里找到手电筒), 个体运动时的本体感觉(躯体运动引起的肌肉、肌腱、关节和皮肤的感觉信号)、前庭觉(加减速、旋转)、以及传出指令的副本(由中枢神经系统向躯体发出的运动指令), 也足够让人们顺利、自动地完成空间更新(如 Farrell & Robertson, 1998; Mou, Xiao, & McNamara, 2008; Presson & Hazelrigg, 1984; Simons & Wang, 1998; Wang & Simons, 1999)。一般而言, 空间更新系统只能表征个体当前位于的周围环境, 并且很容易被破坏。当上述感觉信号被中断, 比如蒙眼持续旋转至迷向(如 Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2000; Xiao, Mou, & McNamara, 2009), 或个体进入另外一个环境(如 Roskos-Ewoldsen, McNamara, Shelton, & Carr, 1998; Wang & Brockmole, 2003), 都会导致个体无法继续更新该环境。

收稿日期: 2013-11-09

* 国家自然科学基金委员会青年科学基金项目资助(31000457)。

通讯作者: 肖承丽, E-mail: xiaocli@nju.edu.cn

除了在真实物理环境中活动之外,很多情况下还要求人们能够对想象的空间环境进行操作。比如,你打电话请家人帮忙找寻你遗落在家里的重要文件。在这种条件下,你需要依靠另外一个系统,即离线的空间表征系统来帮助你完成空间任务。在离线空间系统中,存储着你关于某个场所的全部空间记忆。在上面的例子中,你首先需要回忆出自己家里房间内各个物体的空间位置,然后根据家人的位置信息,指导他/她去相应的位置寻找。在这个过程中,成功提取空间记忆只是顺利完成任务的第一步,你还需要根据家人的位置信息,将空间记忆转换至家人的空间视角。由于离线表征与个体当前的空间位置和当前所处的环境无关,所以你可以在办公室的任何位置、面对任何方向回忆家里房间的布局,但同时,你当前的身体运动也不会改变你的离线表征,你必须通过心理旋转等认知努力,才能转换空间记忆的视角。大多数传统理论认为,对想象空间进行认知加工只涉及离线的表征系统,空间更新系统并不参与,很少有理论讨论人们是否可以对想象环境进行空间更新(Burgess, 2006; Mou et al., 2008; Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2002)。

然而,近年来的一些研究却显示,在某些条件下,人们的身体运动可以帮助他们更新想象环境(Avraamides, Galati, & Papadopoulou, 2013; Kelly, Avraamides, & Loomis, 2007; Rieser, Garing, & Young, 1994; Wang, 2004)。比如 Kelly 等人(2007)利用虚拟现实系统,构建了两个相邻的虚拟房间,被试站在其中一个房间的中央保持身体朝向不变,学习环绕在他身体周围的 8 个物体位置之后,向前直线走到隔壁相邻的房间中央,然后向左或向右旋转 90 度,从这个新的非学习朝向随机想象自己面对学习方向的物体(记忆一致朝向),面对身体前方的物体(感觉运动一致朝向),或与上述二者不一致方向上的物体(不一致朝向),在这 3 种条件下,随机指出其余物体的位置。他们发现,如果在旋转之前给予被试明确的指导语,要求被试想象物体围绕在自己身体周围,或者相邻新房的视觉线索与学习房间相同时,被试都可以随着身体转动更新想象的空间表征,表现为从感觉运动一致朝向比从不一致朝向更好地完成空间判断任务(感觉运动一致效应, Sensorimotor Alignment Effect)。在后来采用真实房间的测试中,也得到了类似的结果(Avraamides et al., 2013)。对于人们是如何做到更新想象环境的,Avraamides 和他的同事们(Avraamides

et al., 2013; Avraamides & Kelly, 2008; Kelly et al., 2007)做出了如下的解释:当被试走到相邻房间时,他们对学习房间的在线的空间表征被中断,被试只能从离线的记忆系统中提取出空间表征。由于离线表征与被试当前的环境和当前的身体位置无关,因此,一般情况下被试的身体运动不会帮助他们更新离线表征。但是在某些实验条件的促使之下(比如,指导语,相似的视觉线索),被试可以将空间更新系统和离线记忆联接起来,因此,表现出了随着身体的运动更新想象的空间环境。

但是,Avraamides 等人的实验方法(Avraamides et al., 2013; Kelly et al., 2007)并不能保证被试使用的是从离线记忆系统中提取的空间表征。在他们的实验中,被试均为直接从学习房间走到相邻房间,中途并没有采取必要步骤来破坏被试的在线表征(例如间隔一段时间,如 Shelton & Marchette, 2010,或者走曲折路径以使被试迷向,如 Waller, Montello, Richardson, & Hegarty, 2002),由于这两个房间紧紧相邻,如果被试将这两个房间作为一个整体来表征,那么,从学习房间走到相邻的测试房间不会中断他们对学习环境的在线表征。此外,由于被试在测试房间的初始身体朝向与学习方向平行,他们很有可能通过想象平移学习环境到自己身体周围,或者想象自己平移回到学习环境中来继续使用在线空间表征。已有的研究表明,想象平移是非常容易完成的空想任务,几乎不会增加空间定位的误差(Easton & Sholl, 1995; Rieser, 1989)。因此,他们的实验结果还存在着另外一种可能的解释:即被试在相邻的测试房间中仍然保持着在线的空间表征,通过对该表征进行想象平移,他们能够成功地对该表征进行更新。

本研究将通过两个实验直接检验上述两种假设。实验 1 将对想象环境与真实环境是否平行进行直接操纵。被试在相邻测试房间建立想象环境时,一半被试保持与学习方向平行,另一半被试原地转动 180 度使得身体朝向与学习方向相反。实验 2 则是对 Avraamides 等人假设的直接检验。被试学习完毕之后戴上眼罩,沿着一条曲折的路径走到相邻的测试房间。在确保被试的在线表征被完全被破坏之后,检测他们是否能够将空间更新系统和离线记忆绑定,实现对想象环境的空想更新。

2 实验 1

除了关键的研究变量——想象环境与真实环境

的关系——之外, 实验 1 的研究方法尽可能地保持与 Kelly 等人(2007)一致。被试在场景中央学习由 8 个物体组成的规则场景(图 1), 然后直线向前穿越屏风走到位于相邻房间的测试位置。与 Kelly 等人的研究的最大区别在于, 实验 1 系统操纵了想象环境与真实环境的关系。在测试位置时, 一半被试保持身体前方与学习方向平行(0 度组), 另一半被试原地旋转 180 度, 使得身体前方与学习方向相反(180 度组)。然后所有被试想象自己仍然位于学习位置, 面对学习方向。因此, 0 度组的想象环境与真实环境平行, 而 180 度组的想象环境与真实环境相差 180 度(图 2)。然后, 所有的被试原地转动 90 度后从 3 个想象朝向完成物体定位任务。

2.1 方法

2.1.1 被试

自愿参加实验的 40 名在校大学本科生和研究生(20 男 20 女), 年龄 19~26 岁, 视力或矫正视力正常。实验后获得一定的报酬。

2.1.2 实验材料

参照 Kelly 等人(2007)的虚拟实验场景, 本研究使用由真实物体组成的场景, 如图 1 所示。在一个长 6.50 m, 宽 4.36 m, 高 2.70 m 的实验室中, 用一组活动屏风(每一面宽 0.5 m, 高 2 m, 共 12 面)将房间平均分为学习空间和测试空间。在学习空间中, 8 个常见物品均匀环绕在被试四周, 距离被试 1 m, 如图 1 所示。

实验任务的每一个试次(trial)由两条指令组成: 想象朝向指令(如, “想象你面对着小球”)和物体指向指令(如, “请指向手机”)。实验指令通过电脑发送至无线耳机, 被试的反应数据通过游戏杆收集。

2.1.3 实验设计和实验过程

被试首先在接待室练习使用游戏杆和理解实验流程。练习完成后, 主试将被试带至实验室门口, 被试带上眼罩后, 在主试的引导下进入实验室, 站在学习位置, 面向小球, 此时活动屏风将学习环境与被试完全隔开, 如图 1。被试站好之后, 主试指示其取下眼罩, 并且双脚站定, 不可移动, 但可以转动上身来查看四周物体。主试向被试介绍各物品名称后, 被试学习场景 10 遍。学习过程中被试说出物体的名称, 并用手指指出物体的相应位置, 指认

顺序和节奏不限。

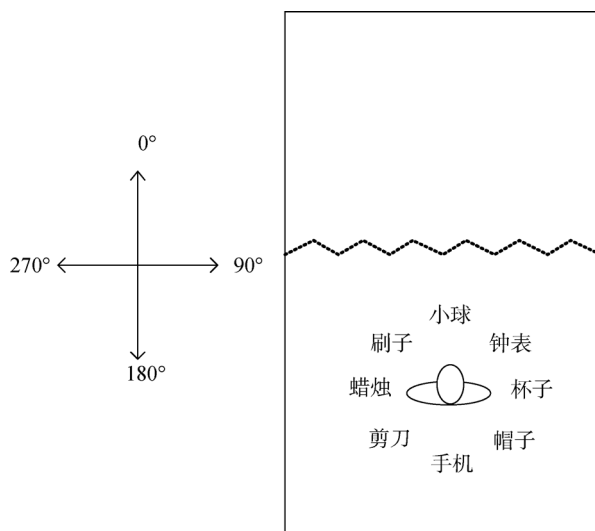


图 1 实验场景示意图。图中虚线部分为活动屏风。

学习阶段结束之后, 主试将被试正前方的一扇屏风打开, 并指导被试保持学习朝向不变, 带领被试往前直线走过活动屏风, 并最终停留在测试空间中央的测试位置。然后主试关闭活动屏风, 将两个空间隔开。一半被试保持初始学习朝向(0 度组), 另一半被试原地旋转 180 度, 面对初始学习朝向的相反方向(180 度组)。之后所有被试戴上眼罩¹, 装配好游戏杆和无线耳机, 主试口述第一条指导语: “想象你正处在刚才所学习的场景中央, 面对着小球。”被试表示想象好了之后, 主试口述第二条指导语: “请转动身体, 面对杯子”(或蜡烛, 被试间平衡)。被试转向完成之后, 维持当前的身体朝向和位置不变, 开始进行测试任务。被试触动游戏杆上的按键, 听到想象朝向指令, (如, “想象你面对着小球”)。被试想象完成之后, 按动游戏杆上的扳机, 听到物体指向指令(如, “请指向剪刀”)。此时, 被试根据想象朝向视角, 快速而准确地扳动游戏杆, 指向第二条指令中的物体位置。完成之后复位游戏杆, 按键进入下一个试次。

0 度组和 180 度组被试的空间判断任务相同, 即分别从 3 个想象朝向: 记忆一致朝向、感觉运动一致朝向和不一致朝向, 指向场景中所有 8 个物体, 共 2 组(block), 48 个试次。记忆一致朝向是指被试

¹ 我们选择这个时间点让被试戴上眼罩, 是为了保证被试明确地知道自己来到了与学习环境相邻的测试环境, 且这个环境与学习环境被屏风完全隔开。同时, 0 度组被试清楚地知道自己的朝向与学习方向平行, 而 180 度组被试清楚地知道自己的朝向与学习方向完全相反。

在学习时建构的空间表征的朝向,即想象面对小球的方向²。感觉运动一致朝向是指被试原地旋转 90 度后与身体前方一致的朝向。不一致朝向既不与学习朝向相同,也不与被试当前的身体朝向相同。在本研究中,以学习方向为对称轴,采用与感觉运动一致朝向对称的方向为不一致朝向。感觉运动一致朝向和不一致朝向上的物体均使用想象环境中的物体位置来定义。测试时试次伪随机呈现,保证相邻两个试次的想象朝向不同。

因变量为被试的反应时间(物体指向指令结束至被试扳动游戏杆之间的时间)和绝对角度误差(被试扳动游戏杆所指方向和物体实际所在方向之间的角度偏差数的绝对值)。除了进行方差分析之外,我们还将进行计划比较来检验记忆一致效应(Memory Alignment Effect, 记忆一致朝向 vs. 不一致朝向)和感觉运动一致效应(Sensorimotor Alignment Effect, 感觉运动一致朝向 vs. 不一致朝向)。如果被试在记忆一致朝向的成绩优于在不一致朝向的成绩,则证明被试建立了朝向依赖的空间记忆;如果被试在感觉运动一致朝向的成绩优于在不一致朝向的成绩,则证明被试更新了空间表征。

根据 Avraamides 和 Kelly (2008)的预测,如果走到相邻房间完全破坏了被试的在线表征,被试仅能利用离线记忆来完成任务,那么,被试在相邻房间的身体朝向将不会影响他们对离线记忆的提取。如果被试能够再次将空间更新系统和离线记忆绑定,那么两种朝向下被试均能够表现出对想象环境的更新,即出现感觉运动一致效应。反之,如果被试走到新房间后对真实环境的表征仍然存在,且如我们的预测,被试可以通过对该表征进行平移来完成空间任务,那么被试可以通过两种方法来完成任务:对真实环境表征进行平移,或根据指导语建构想象环境。对于 0 度组的被试,由于真实环境和想象环境完全平行,无论选择哪种表征来完成实验任务,感觉运动一致朝向和不一致朝向上的物体在两个表征间是相同的。如图 2 左侧所示,当被试身体面对想象环境的杯子时,真实环境的杯子也位于被试身体的前方,因此,无论被试选择哪个表征来完成实验任务,想象面对杯子均为感觉运动一致朝向,而想象面对蜡烛均为不一致朝向。因此,无论选择哪种表征,0 度组的被试都将表现出感觉运动一致效应。但是,对于 180 度组的被试,根据指

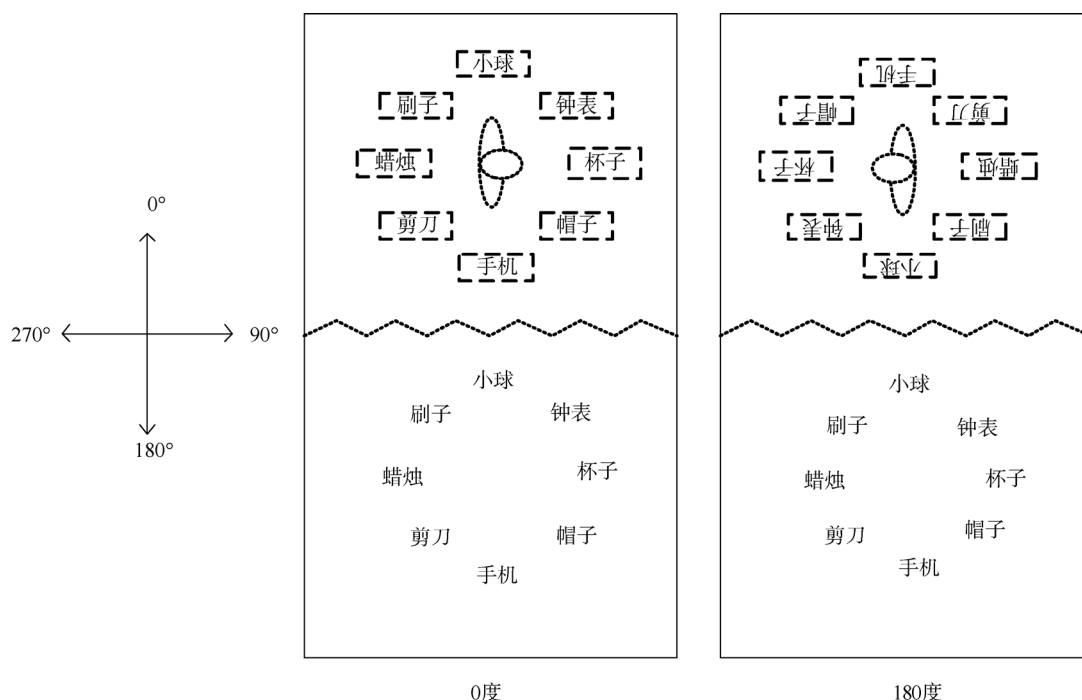


图 2 实验 1 中 0 度和 180 度组被试测试时的真实环境和想象环境表征示意图, 下半部分为真实环境表征, 上半部分为想象环境表征。

² 由于本研究中被试从单一朝向学习场景, 且场景本身没有异于视线方向的特殊朝向或对称轴, 因此建立的空间表征的朝向与视线方向平行(Mou & McNamara, 2002; Shelton & McNamara, 2001)。

导语建构的想象环境与真实环境正好相反。如图 2 右侧所示, 当被试的身体面对想象环境的杯子时, 真实环境的杯子位于被试身体的后方。如果被试采用想象环境表征来完成任务, 那么“想象面对杯子”是感觉运动一致朝向, 而如果被试通过平移真实环境表征来完成任务, 那么, “想象面对杯子”对被试而言是不一致朝向, 而非实验定义的感觉运动一致朝向。同理, 在想象环境中位于不一致朝向上的蜡烛, 在真实环境中位于感觉运动一致朝向。因此, 180 度组的被试结果将出现 3 种可能性: 如果所有的被试都采用想象环境, 那么整组的平均值将仍然表现出感觉运动一致效应; 如果所有的被试都通过对真实环境平移来完成任务, 那么整组的平均值将出现反转, 即在不一致朝向上的表现好于感觉运动一致朝向; 如果被试间的选择出现分化, 部分被试选择使用想象环境表征, 部分被试选择使用真实环境表征, 那么整组被试的平均值将可能在感觉运动一致和不一致朝向上没有显著差异。

2.2 结果与分析

用 SPSS 20 对结果进行 3(想象朝向: 记忆一致、感觉运动一致和不一致) \times 2(想象-真实场景关系: 0 度和 180 度) 的重复测量方差分析, 其中想象朝向为被试内变量, 想象-真实场景关系为被试间变量。

反应时的结果如图 3 所示, 想象朝向主效应显著, $F(2, 76) = 7.01, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.16$; 想象朝向和想象-真实场景关系的交互作用显著, $F(2, 76) = 3.75, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.09$; 想象-真实场景关系主效应不显著, $F(1, 38) < 1$ 。计划的比较发现, 0 度组被试的记忆一致朝向比不一致朝向反应时更短, F

$(1, 38) = 24.12, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.39$, 即出现记忆一致效应; 感觉运动一致朝向比不一致朝向反应时更短, $F(1, 38) = 5.60, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.13$, 即出现感觉运动一致效应。而计划的比较发现, 180 度组被试没有出现记忆一致效应和感觉运动一致效应, 记忆一致朝向与不一致朝向反应时无显著差异, $F(1, 38) = 2.11, p = 0.16, \eta_p^2 = 0.05$, 感觉运动一致朝向与不一致朝向反应时也无显著差异, $F(1, 38) < 1$ 。

绝对角度误差结果如图 4 所示, 想象朝向主效应显著, $F(2, 76) = 9.01, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.19$; 想象朝向和想象-真实场景关系的交互作用不显著, $F(2, 76) = 2.16, p = 0.12, \eta_p^2 = 0.05$; 想象-真实场景关系的主效应不显著, $F(1, 38) = 1.28, p = 0.27, \eta_p^2 = 0.03$ 。计划的比较发现, 0 度组被试记忆一致朝向比不一致朝向的绝对角度误差更小, $F(1, 38) = 17.68, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.32$, 即出现了记忆一致效应。感觉运动一致朝向比不一致朝向的绝对角度误差小, 边缘显著, $F(1, 38) = 3.93, p = 0.06, \eta_p^2 = 0.09$ 。而计划的比较发现, 180 度组被试没有出现记忆一致效应和感觉运动一致效应, 记忆一致朝向比不一致朝向的绝对角度误差小, 但不显著, $F(1, 38) = 2.73, p = 0.11, \eta_p^2 = 0.07$; 感觉运动一致朝向与不一致朝向的绝对角度误差没有显著差异, $F(1, 38) < 1$ 。

2.3 讨论

0 度组的成绩与 Avraamides 等人(Avraamides et al., 2013; Kelly et al., 2007)的研究结果一致, 被试在感觉运动一致朝向上的表现优于不一致朝向, 出现了感觉运动一致效应, 说明被试在测试空间旋转

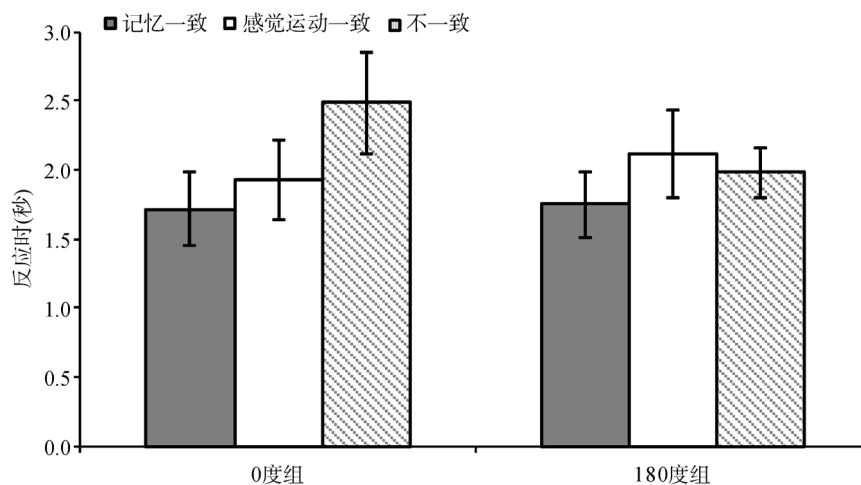


图 3 实验 1 中两组被试的平均反应时。误差线是标准误, 代表被试间的变异。

90 度时更新了表征。同时, 记忆一致朝向的成绩也优于不一致朝向, 出现了记忆一致效应, 说明被试在学习时建立的空间表征具有参考方向。但是, 180 度组的成绩不同于 Avraamides 等人的研究结果。整组被试的平均值没有表现出感觉运动一致效应, 甚至也没有记忆一致效应。通过分析 180 度组单个被试的数据(图 5)可以发现, 被试间的变异非常明显, 有些被试在感觉运动一致朝向比在不一致朝向表现更好, 说明他们很有可能是依靠建立的想象环境来完成空间任务的; 而有些被试在不一致朝向比在感觉运动一致朝向表现更好, 说明他们很有可能是通过对真实环境的表征平移来完成此任务。因此整

组被试的平均值在感觉运动一致朝向和不一致朝向上没有差异, 表现为没有感觉运动一致效应。这也可以解释 180 度组为何没有出现记忆一致效应。由于记忆一致效应是将记忆一致朝向和不一致朝向的成绩进行比较, 但是 180 度组的部分被试是通过对真实环境进行平移来完成空间任务的, 对他们而言, 不一致朝向其实是感觉运动一致朝向。由于空间更新可以帮助人们在感觉运动一致朝向上很好地维持表征的准确度, 因此这部分被试的成绩缩小了整组被试在不一致朝向与记忆一致朝向间的差异, 使得记忆一致效应不显著。

尽管 0 度组被试整体表现出了感觉运动一致效

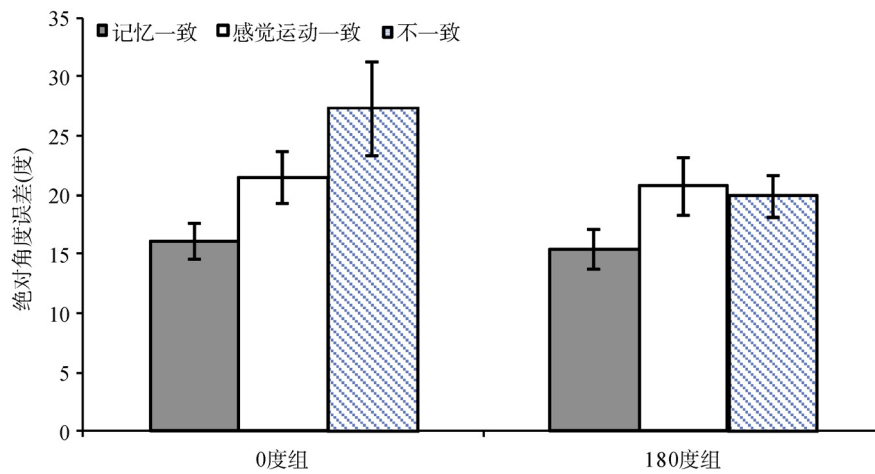


图 4 实验 1 中两组被试的平均绝对角度误差。误差线是标准误, 代表被试间的变异。

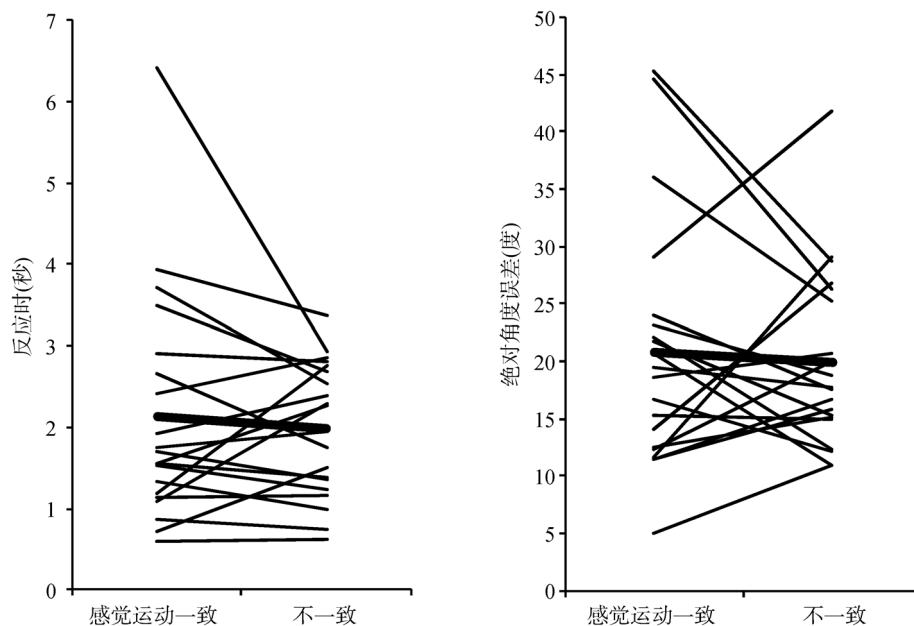


图 5 实验 1 中 180 度组被试在感觉运动一致和不一致朝向上的反应时和绝对角度误差。细线为单个被试数据, 粗线为该组的平均值。

应和记忆一致效应,但是我们无法区分被试究竟采用的是哪种表征来完成空间任务的。由于 0 度组建立的想象环境与真实环境完全平行,他们既可以通过建立想象环境表征或者通过对真实环境表征进行平移两种方法来完成。同样的,由于 Avraamides 等人的实验中被试在新房间的朝向与学习房间的朝向一致,我们也无法确证他们的被试究竟采用的是平移后的真实环境表征还是建立的想象环境表征。此外, Kelly 等人(2007)采用的是沉浸式的虚拟现实场景,与真实场景不尽相同。相关研究表明,人们需要一段时间地适应和训练才能在虚拟现实系统中准确判断空间距离(Waller & Richardson, 2008),相对于真实环境而言,人们也更容易对虚拟环境进行加工模式的转换(Mou et al., 2004; Mou, Li, & McNamara, 2008)。因此,实验 1 的研究结果,能否推广到虚拟现实环境,还有待进一步验证。而在 Avraamides 等人(2013)中,被试需要绕过两扇门才能从学习房间来到相邻房间,增加了维持在线空间表征的难度。但是,在这两个研究中,都没有操作来检验被试是否在新环境中已经丢失了在线表征。由于实验 1 的 180 度组中仅有一些被试表现出了可以更新提取的离线表征,该行为在一般人群身上是否具有普遍性,需要进一步确认。实验 2 将对 Avraamides 等人的假设进行更为直接的检验。在实验 2 中,被试学习完场景之后,戴上眼罩,在主试的带领下在学习房间内绕圈,直至迷向。然后被试站在测试空间,面对方向与学习方向相差 180 度。在这个位置下,被试想象自己仍然位于学习房间的学习位置和朝向,完成相应的空间任务。如果被试能够从离线记忆系统提取空间表征,并将其与空间更新系统联结,那么他们将可以更新该表征,表现出感觉运动一致效应。反之,如果被试不能将离线表征与空间更新系统进行联结,那么他们将无法更新此表征,感觉运动一致效应将不会出现。

3 实验 2

3.1 方法

3.1.1 被试

自愿参加实验的 20 名在校大学本科生和研究(10 男 10 女),年龄 19~26 岁,视力或矫正视力正

常。实验后获得一定的报酬。

3.1.2 实验材料、设计与程序

实验 2 的实验场景与实验 1 相同,如图 1。实验设计和程序与实验 1 的 180 度组基本相同。不同之处在于被试学习完空间场景后,并非直线向前走到测试位置,而是戴上眼罩,双手搭在主试肩膀上,在主试的引领下,沿着一条曲折的路径³走到测试位置,面对与初始学习朝向相反的方向。之后主试给出指导语:“请指出实验室的门所在方向”。如果被试所指方向与房门实际所在方向相差 90 度及以上,则说明被试已经迷向。如果被试所指方向与房门实际所在方向相差小于 90 度,则认为被试还没有迷向,主试再次引导被试在房间中绕圈,直至迷向。在实际操作过程中,被试在第一次绕圈之后均已迷向。

确认被试迷向之后,主试将活动屏风关闭,然后指导被试将眼罩取下,从屏风的顶端观察实验室的房门位置,从而确定自己位于学习房间相邻的测试房间,面对方向与学习方向相反(由于屏风的遮挡,被试无法看到学习场景)。被试确定自己的方位之后,再次戴上眼罩,装配好无线耳机和游戏杆。然后主试指导被试想象自己站在学习位置,面对学习方向(小球)。之后被试向左或向右旋转至面对蜡烛或杯子,在新的朝向上完成与实验 1 相同的空间判断任务。

3.2 结果与分析

用 SPSS 20 对因变量进行重复测量方差分析,想象朝向(记忆一致朝向、感觉运动一致朝向和不一致朝向)为被试内变量。

如图 6 所示,反应时的想象朝向的主效应显著, $F(2, 38) = 9.29, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.33$ 。计划的比较发现,被试在记忆一致想象朝向比在不一致想象朝向上的反应时间更短, $F(1, 19) = 11.62, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.38$,即出现记忆一致效应;被试在感觉运动一致想象朝向比在不一致想象朝向上的反应时间也更短, $F(1, 19) = 7.05, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.27$,即出现感觉运动一致效应。绝对角度误差的结果与反应时类似,想象朝向的主效应显著, $F(2, 38) = 11.83, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.38$ 。计划的比较发现,记忆一致的想象朝向比不一致的想象朝向,绝对角度误差更小, $F(1, 19) = 24.38, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.56$,

³在实验中,我们将整个实验室分割为 4 个象限,戴着眼罩的被试首先在学习环境的两个象限各绕圈一周,然后进入测试环境,在其两个象限各绕圈一周,最终停留在学习位置,面对方向与学习方向 180 度相反。

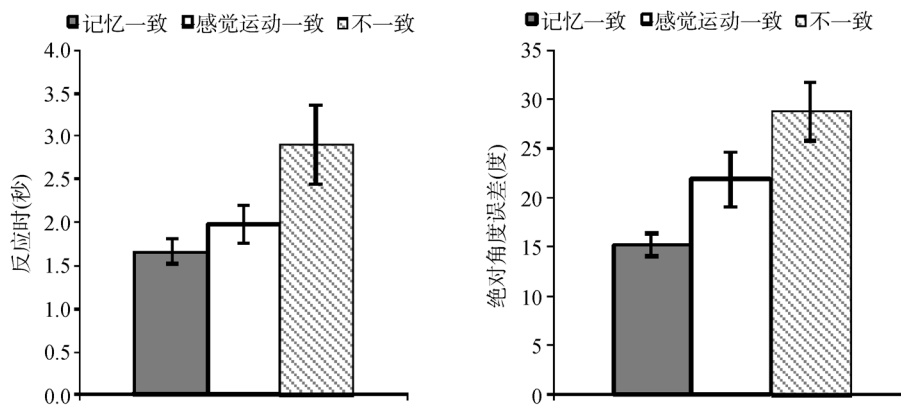


图6 实验2中被试的平均反应时和绝对角度误差。误差线是标准误,代表被试间的变异。

即出现记忆一致效应;感觉运动一致的想象朝向比不一致的想象朝向,绝对角度误差也更小, $F(1, 19) = 4.79, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.20$, 即出现感觉运动一致效应。

3.3 讨论

与实验1中180度组相同,实验2的被试在新房间的站立朝向与学习朝向相差180度,但是实验2的被试却表现出了感觉运动一致效应。由于实验2的被试在学习完毕之后在学习房间内绕圈直至迷向,迷向后每个被试都无法正确指出大门的位置,说明实验2的被试的在线表征已经在迷向时被完全破坏。尽管走到测试空间之后,被试有机会确定自己的当前位置和朝向,但是这种确定并不能恢复他们的在线表征,否则,他们应该同实验1那些旋转180度的被试一样,表现不出感觉运动一致效应。但是,实验2的被试仍然表现出了感觉运动一致效应,这说明他们是从离线记忆系统中提取出空间表征,将其与空间更新系统联结,并随着身体的运动更新了这个表征。该实验结果直接支持了Avraamides和Kelly(2008)的理论假设。

将实验1的0度组与实验2进行对比,可以发现两组被试在各个想象朝向上的表现没有区别,无论是反应时还是绝对角度误差, $F_s < 1$ 。根据实验1的180度组的结果,我们可以推测实验1的0度组中至少有部分被试是通过平移在线的真实环境表征来完成任务的,但实验1的0度组的表现与实验2相同,说明无论是平移在线的真实环境表征还是提取记忆建立想象环境表征,这两种方法都可以同样准确快速地完成空间任务。这也进一步说明了为什么实验1的0度组和180度组的成绩相当。尽管180度组的被试面临真实环境表征与想象任务之间的冲突,但是,无论被试选择哪一种表征,都

可以同样快速准确地完成任务。

对比实验1的180度组和实验2可以发现:尽管人们可以提取离线记忆建立并更新想象环境,但是这个过程可能会受到在线的真实环境表征的影响;当真实环境表征存在时,部分被试无法从与真实环境表征相反的方向建立想象环境表征。实验1的180度组被试间的巨大差异提示我们:不同的被试有着不同的空间更新能力和空间认知调控能力,被试也可能采用不同的策略来完成空间任务。在实验1的180度组中,那些选择使用在线的真实环境表征的被试可能有两种原因:第一,这些被试拥有非常强的空间更新能力,使得他们在进入相邻的测试环境之后仍然清晰地表征着真实环境,并且,这些被试的空间认知调控能力较差,他们无法忽略来自于真实环境表征的干扰,很难从相反方向建立并使用想象环境表征;第二,尽管某些被试拥有较强的调控能力,可以忽略来自真实环境表征的干扰从相反方向建立想象环境表征,但是他们主动选择使用真实环境表征来完成任务。同样的,那些选择使用建立的想象环境表征的被试也可能有两种原因:第一,这些被试的空间更新能力较差,在进入测试环境之后对相邻的学习环境的空间表征已经变模糊甚至消失,因此他们可以很容易地提取离线记忆建立并更新想象环境;第二,虽然某些被试空间更新能力很强,在相邻的测试环境中仍然保持着对真实环境的表征,但是,他们同样拥有较强的空间认知调控能力,使得他们可以忽略来自于真实环境表征的干扰,从相反方向建立并使用想象环境表征。

4 总讨论

长期以来,空间更新的研究主要集中在对个体所处真实环境的更新(如Farrell & Robertson, 1998;

Mou et al., 2008; Rieser, 1989; Simons & Wang, 1998; Wang & Simons, 1999), 仅有少数几个研究涉及到了对想象空间的更新(Avraamides et al., 2013; Kelly et al., 2007; Rieser et al., 1994; Wang, 2004)。但是, 这些研究都未能直接证明人们是怎样做到更新想象空间表征的。本研究通过两个实验, 发现了两种对想象空间表征进行更新的模式。实验 1 的结果证明, 被试可以通过想象平移在线的空间表征来对想象环境进行空间更新。实验 2 的结果则证明, 当在线空间表征消失后, 被试也可以从离线记忆系统中提取出空间表征, 并将其与空间更新系统联结, 进而对这个想象环境进行空间更新。

实验 2 的结果直接证明了 Avraamides 和他的同事们的假设(Avraamides & Kelly, 2008; Galati et al., 2013; Kelly et al., 2007), 说明在某些条件下, 被试是可以将离线记忆系统和空间更新系统联结起来, 从而完成对想象环境的空间更新的。但是, 当前的研究还无法直接证明什么条件将会促成这样的联结, 什么条件下被试无法进行联结。Kelly 等人(2007)实验 1 的被试在相邻房间没有表现出感觉运动一致效应。而在实验 3 中, 被试得到明确的指导语和充足的时间来想象自己位于学习位置、物体环绕在身体周围后, 则出现了感觉运动一致效应。而实验 4, 如果新房子的视觉线索一致, 感觉运动一致效应也会出现。而在我们的研究中, 被试在新房间中并没有与学习房间一致的视觉线索, 甚至在实验 2 中, 视觉线索清晰地提示当前环境不是学习环境, 因此, 视觉线索是否一致不是影响被试将离线表征与在线系统联结的关键因素。我们的研究, 也并未像 Kelly 等人的实验 3 那样, 给被试提供了详细的指导语和充足的时间来让他们想象物体环绕在自己身体周围。因此, 这也应该不是关键的因素。但是, 我们的实验条件与 Kelly 等人的实验 1 最大的不同在于, 我们在被试进入新房间站到测试位置之后, 开始旋转更新之前, 明确地告诉被试想象自己站在学习位置, 面对学习方向, 而在他们的实验 1 中, 被试进入新环境后, 首先旋转 90 度, 然后再让他们想象自己仍然位于学习房间。相比我们的方法, 他们的方法的模糊性在于: 没有明确告诉被试当前应该想象自己身体朝向何处, 其结果就是被试在旋转 90 度时并没有意识到自己应该更新刚才习得的空间表征。因此, 在测试时, 被试很可能直接从学习朝向提取表征(Mou, McNamara, Rump, & Xiao, 2006; Shelton & Marchette, 2010), 这样的话,

感觉运动一致朝向本质上等同于不一致朝向。因此, 我们推测, 要让被试更新想象环境的关键点在于: 在开始身体运动之前, 明确地知道自己应该位于想象环境的什么位置, 与想象环境中的物体的关系如何, 只有首先建立了个体与想象环境中各目标物体的空间关系, 被试才能通过后续的身体运动更新想象环境。

其次, 无论是本研究还是 Avraamides 等人的研究, 物体均环绕在被试身体周围。大多数的理论认为, 空间更新系统的表征是自我中心性质的(Avraamides & Kelly, 2008; Burgess, 2006; Mou et al., 2008; Wang & Spelke, 2002), 即该系统表征的是各个物体相对于观察者自身的位置和朝向, 因此, 这一特殊的学习和想象位置或许有利于被试存储和提取各个物体相对于自己身体的空间表征(Wang, 2012; Xiao & Chen, 2012; 肖承丽, 2013), 并将离线表征和空间更新系统进行联结。再次, 本研究和 Avraamides 等人研究所采用的场景均为规则场景, 8 个物体均匀分布在被试周围。已有的研究表明, 场景的规则性将会影响到被试的空间行为(Easton & Sholl, 1995; Xiao et al., 2009), 因此, 采用规则场景, 也许将降低被试的认知负荷, 从而有利于空间更新离线表征的发生。

除了将离线记忆和空间更新系统联结起来, 从而完成对想象环境的空间更新之外, 实验 1 的结果还揭示了另外一种更新想象环境的模式, 即通过空间想象平移来将在线空间表征与当前身体位置信息进行匹配, 从而实现了对想象环境的空间更新。这种更新模式并未涵盖在任何一个前人的理论模型之中, 对它的理解还有待进一步的研究。

首先, 想象平移发生在什么阶段? 至少有两个阶段被试可以进行想象平移。第一个阶段是站在测试位置, 保持身体朝向与学习方向一致, 听到指导语“想象你站在学习位置, 面对学习方向”的时候。如果在这个阶段被试完全遵照指导语, 完成了想象平移, 那么, 他接下去在身体旋转过程中更新的将会是想象平移之后的空间表征。也即意味着他的认知系统抛弃或屏蔽了真实的周围环境的空间表征, 转而更新想象的空间表征。第二个阶段则是被试遵照指导语, 向左或向右旋转 90 度之后。他们完全可以在第一阶段不进行空间想象, 或者第一阶段的空间想象失败, 仍然更新真实的周围环境, 但是在身体旋转结束之后, 再进行想象平移。

其次, 被试是如何完成空间想象平移的? 被试

可以想象自己平移回到先前学习过的场景,也可以想象先前学习过的场景平移到了当前自己身体的周围。前人在研究空间想象旋转时发现,想象自己旋转比想象场景旋转更有优势(Wraga, Creem-regehr, & Proffitt, 2004; Wraga, Creem, & Proffitt, 2000)。并且这两种旋转涉及到了不同的大脑皮层(Wraga, Shephard, Church, Inati, & Kosslyn, 2005)。但是在空间想象平移方面,目前尚未见到相关的研究来探讨这两种想象策略的差异及优劣。究其原因,也许在于空间想象平移是一个比较容易完成的任务,因此两种策略的差异不明显。但是,如果被试面临的是更加复杂和困难的空间想象平移任务,这两种想象策略的差异或许会出现,对其进行研究的价值将会突显。

第三,在本研究中,尽管用屏风将实验室分隔成了学习环境和测试环境,但是,这两个环境本质上是共同属于一个大的空间结构的,且屏风的活动性,可能也使得被试可以在心理上很容易地越过这个边界,实现想象平移。今后的研究中,可以考虑使用更加厚重很难移动的物体作为隔断,或者更加明显地分割学习环境和测试环境,来检验想象平移的条件和限制。

如果说对真实环境的更新是自动发生的、个体间的差异不明显,那么,对想象环境的更新则可能更需要个体主动认知过程的参与,比如“平移”真实环境或者是“联结”离线记忆与空间更新系统。由于个体的认知过程参与其中,个体间空间能力的差异和认知策略的不同将极大影响他们的空间行为。因此,不同于对传统的对真实环境的空间更新研究,在研究对想象环境的空间更新时,需要更加重视个体空间能力的差异和个体空间策略的选择。在科技飞速发展的今天,人们的生活和工作范围不再局限于个体当前所处的真实环境,他们可能需要在虚拟的想象环境中巡航,或者通过远程控制机器人探索人们无法到达的地方。在这些任务中,个体能否快速建立想象空间的表征,并通过自身的运动帮助自己更新想象空间,以及采用何种策略来实现更新,运用哪些手段训练和提高人们相应的空间能力,都将是值得研究和探讨的课题。

5 结论

通过两个实验,本研究发现了对想象环境进行空间更新的两种方法:如果真实环境的表征与需要建立的想象环境平行,被试可以通过空间想象平移

的方法来对想象环境进行空间更新;如果在线空间表征被破坏或已消失,那么被试可以通过提取离线记忆,并将其与空间更新系统联结起来,达到对想象环境进行空间更新的目的。

参 考 文 献

- Avraamides, M. N., Galati, A., & Papadopoulou, C. (2013). Egocentric updating of remote locations. *Psychological Research*, 77, 716–727.
- Avraamides, M. N., & Kelly, J. W. (2008). Multiple systems of spatial memory and action. *Cognitive Processing*, 9, 93–106.
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 551–557.
- Easton, R. D., & Sholl, M. J. (1995). Object-array structure, frames of reference, and retrieval of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 483–500.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 227–233.
- Kelly, J. W., Avraamides, M. N., & Loomis, J. M. (2007). Sensorimotor alignment effects in the learning environment and in novel environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33, 1092–1107.
- Mou, W., Biocca, F., Owen, C. B., Tang, A., Xiao, F., & Lim, L. (2004). Frames of reference in mobile augmented reality displays. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10, 238–244.
- Mou, W., Fan, Y., McNamara, T. P., & Owen, C. B. (2008). Intrinsic frames of reference and egocentric viewpoints in scene recognition. *Cognition*, 106, 750–769.
- Mou, W., Li, X., & McNamara, T. P. (2008). Body- and environment-stabilized processing of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34, 415–421.
- Mou, W., & McNamara, T. P. (2002). Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 162–170.
- Mou, W., McNamara, T. P., Rump, B., & Xiao, C. (2006). Roles of egocentric and allocentric spatial representations in locomotion and reorientation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 1274–1290.
- Mou, W., Xiao, C., & McNamara, T. P. (2008). Reference directions and reference objects in spatial memory of a briefly viewed layout. *Cognition*, 108, 136–154.
- Presson, C. C., & Hazelrigg, M. D. (1984). Building spatial representations through primary and secondary learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 716–722.
- Rieser, J. J. (1989). Access to knowledge of spatial structure at novel points of observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1157–1165.
- Rieser, J. J., Garing, A. E., & Young, M. F. (1994). Imagery, action, and young children's spatial orientation: It's not

- being there that counts, it's what one has in mind. *Child Development*, 65, 1262–1278.
- Roskos-Ewoldsen, B., McNamara, T. P., Shelton, A. L., & Carr, W. (1998). Mental representations of large and small spatial layouts are orientation dependent. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24, 215–226.
- Shelton, A. L., & Marchette, S. A. (2010). Where do you think you are? Effects of conceptual current position on spatial memory performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36, 686–698.
- Shelton, A. L., & McNamara, T. P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology*, 43, 274–310.
- Simons, D. J., & Wang, R. F. (1998). Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science*, 9, 315–320.
- Waller, D., & Hodgson, E. (2006). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 867–882.
- Waller, D., Montello, D. R., Richardson, A. E., & Hegarty, M. (2002). Orientation specificity and spatial updating of memories for layouts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 1051–1063.
- Waller, D., & Richardson, A. R. (2008). Correcting distance estimates by interacting with immersive virtual environments: Effects of task and available sensory information. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14, 61–72.
- Wang, R. F. (2004). Between reality and imagination: When is spatial updating automatic? *Perception & Psychophysics*, 66, 68–76.
- Wang, R. F. (2012). Theories of spatial representations and reference frames: What can configuration errors tell us? *Psychonomic Bulletin & Review*, 19, 575–587.
- Wang, R. F., & Brockmole, J. R. (2003). Human navigation in nested environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 398–404.
- Wang, R. F., & Simons, D. J. (1999). Active and passive scene recognition across views. *Cognition*, 70, 191–210.
- Wang, R. F., & Spelke, E. S. (2000). Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77, 215–250.
- Wang, R. F., & Spelke, E. S. (2002). Human spatial representation: Insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 376–382.
- Wraga, M., Creem, S. H., & Proffitt, D. R. (2000). Updating displays after imagined object and viewer rotations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 151–168.
- Wraga, M., Creem-regehr, S. H., & Proffitt, D. R. (2004). Spatial updating of virtual displays during self- and display rotation. *Memory & Cognition*, 32, 399–415.
- Wraga, M., Shephard, J. M., Church, J. A., Inati, S., & Kosslyn, S. M. (2005). Imagined rotations of self versus objects: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 43, 1351–1361.
- Xiao, C. (2013). Stable egocentric representation acquired from sequential proprioceptive learning. *Acta Psychologica Sinica*, 45, 752–761.
- [肖承丽. (2013). 序列本体感觉学习获得稳定的自我中心空间表征. *心理学报*, 45, 752–761.]
- Xiao, C., & Chen, F. (2012). *Stable self-to-object spatial relations acquired from sequential spatial learning*. Paper presented at the annual meeting of the Cognitive Science Society, Sapporo, Japan.
- Xiao, C., Mou, W., & McNamara, T. P. (2009). Use of self-to-object and object-to-object spatial relations in locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 1137–1147.

Spatial Updating of Imagined Environment

XIAO Chengli; LIU Chuanjun

(Department of Psychology, School of Social and Behavioral Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China)

Abstract

It is widely accepted that spatial updating is online, and supported by sensation and perception. However, recent studies suggest that people may update the retrieved offline spatial memory in some conditions. For example, after learning a spatial layout, Kelly, Avraamides, and Loomis (2007) had participants walk to a neighboring (novel) room and imagine that they were standing in the center of the learned environment. Next, the participants rotated in place to face a direction different from the learned perspective. After that, they performed direction judgments from imagined perspectives that were aligned or misaligned with their actual facing direction. Sensorimotor alignment effects (i.e., the advantage for spatial judgments from imagined perspectives aligned with the body) may have been caused by instructions that encouraged participants to imagine themselves immersed in the learning environment or by visual similarities between the testing and learning environments. This phenomenon is explained as linking the retrieved offline spatial memory to the online spatial updating system (Avraamides & Kelly, 2008). However, because the imagined environment was

parallel with the real environment, and because there was no manipulation check to verify whether the participants lost their online representation, it was also possible that the participants still held their online representation and updated it through imagined translation. The two hypotheses were examined in this study.

In Experiment 1, forty participants (20 men) learned a regular 8-object layout and then walked straight forward to the testing position in the novel environment. Half remained in their orientation (0° condition) while the others turned to face the direction opposite to learning perspective (180° condition). In Experiment 2, after learning the layout, twenty participants (10 men) were disoriented before standing at the testing position in the novel environment, facing 180° opposite to the learning direction. Next, in both experiments, all participants were instructed to imagine themselves standing at the learning position and facing the learning direction (e.g., “Please imagine you are in the learning environment, standing at the learning position and facing the ball”). Then, participants turned 90° to the left or right before they performed spatial judgments from a perspective aligned with the learning direction (memory aligned), aligned with their facing direction (sensorimotor aligned), and a novel direction misaligned with the two directions mentioned above (misaligned). In each imagined perspective, participants pointed to all of the 8 objects of the layout (e.g., “Imagine you are facing the ball, please point to the candle”). Each participant performed 48 trials (8 target objects \times 3 imagined perspectives \times 2 blocks). The dependent measures were the latency and the absolute angular error of the pointing response.

In Experiment 1, the pointing latency and absolute pointing error were subjected to mixed-model analyses of variance (ANOVAs), with imagined heading (memory aligned, sensorimotor aligned, misaligned) as the within-subject variable, imagined-real environment discrepancy (0° , 180°) as the between-subjects variable. In the 0° condition, participants pointed more accurately and faster from the memory aligned perspective than from the misaligned perspective (a memory alignment effect), and faster from the sensorimotor aligned perspective than from the misaligned perspective (a sensorimotor alignment effect). However, in the 180° condition, neither a memory alignment effect nor a sensorimotor alignment effect appeared. In Experiment 2, the pointing latency and absolute pointing error were subjected to one-way ANOVA, with the imagined perspective (memory aligned, sensorimotor aligned, misaligned) as the within-subject variable. Different from the participants in the 180° condition of Experiment 1, participants in Experiments 2 showed both a memory alignment effect and a sensorimotor alignment effect on pointing latency and absolute pointing error.

In conclusion, results in the present study indicate that people can update an imagined environment by two means. They can update the imagined environment either by translation of the online representation or by retrieving the offline spatial memory and linking it to the online updating system.

Key words spatial updating; spatial imagining; dual system processing; alignment effect; disorientation