

# 躯体运动促进空间更新的环境依赖效应<sup>\*</sup>

刘传军 辛 勇 张富洪 冯 春 陈幼平

(<sup>1</sup>西南科技大学法学院应用心理学系; <sup>2</sup>四川绵阳未成年人心理成长指导与研究中心, 绵阳 621010)

**摘 要** Kelly, Avraamides 和 Loomis (2007)发现被试在新环境中空间更新失败, 而肖承丽和刘传军(2014)发现被试在新环境中可使用想象平移等策略来实现空间更新。为了探索该两项研究的异同, 本研究采用与 Kelly 等相同的实验范式进行研究。实验 1 被试在原学习环境中完成实验任务。实验 2 被试记忆完物体空间位置后, 转移至新环境, 在只依靠离线表征、离线表征与在线表征相协调和离线表征与在线表征相矛盾三种条件下完成相同的实验任务。结果发现, 被试在原环境中通过躯体运动和记忆两种方式促进空间更新, 具有同等有效性, 而在新环境中躯体运动显著差于记忆对空间更新的促进作用; 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用在两种环境中均高度相关。研究表明, 躯体运动促进空间更新具有环境依赖效应, 与记忆对空间更新的促进作用相比, 躯体运动对空间更新的促进作用会随着环境的改变而降低。

**关键词** 躯体运动; 空间更新; 空间想象; 双系统加工; 环境依赖效应

**分类号** B842

## 1 引言

当个体进入新环境时, 出于生存和发展的需要会试图记住其所处的空间环境, 以便在之后的生活中提取出有关这个空间环境的表征信息指引自己到达目的地。比如, 当你来到新校园, 会自然地记住学校大门、图书馆、教学楼、办公楼、宿舍等关键建筑物的地理位置。这个对地理空间信息进行编码、加工、存储并在之后根据需要进行提取的过程就是空间记忆过程。而对于生存在三维空间的人类来说, 每天不仅要进行空间记忆, 还要进行空间更新。空间更新, 指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更新过程(肖承丽, 刘传军, 2014)。比如, 当你从学校大门径直走到图书馆, 你会自然地知道学校大门位于你身后的方向。但是, 倘若你身处其他地方, 被问及“若你站在图书馆门口并面对着图书馆, 请问学校大门在哪里”时, 你则需要首先提取出有关图书馆和学校大门的位置关系表征, 然后再更新出学校大门所在方位。

当前学界多以双系统加工理论来解释空间行

为规律。该理论认为, 人的大脑存在两个空间信息处理的表征系统: 在线空间表征系统与离线空间表征系统。大多数研究者认为空间更新是基于在线空间表征系统的自动化加工过程。在这个系统中, 个体时刻表征着周围环境中各个物体的当前空间位置, 并在个体运动时不断计算和更新周围物体的空间表征(Avraamides & Kelly, 2008; Burgess, 2006; Mou, Fan, McNamara, & Owen, 2008; Waller, 2006)。部分研究者将这种表征信息称为空间工作记忆(spatial working memory) (Bahner et al., 2014; Won & Jiang, 2014; 张增强等, 2008)。而离线空间表征系统则存储着人所经验过的所有空间信息, 供在线的空间表征系统调用(Wang, 2003)。因此, 也有研究者将离线的空间表征称为长时空间记忆(Solntseva, Storozheva, & Nikitin, 2012)。在上述例子中, 对学校大门和图书馆的空间方位信息的记忆属于长时空间记忆, 主要存储在个体的离线空间表征系统中。而当个体处于其他地方, 通过想象调用这一离线空间表征来指出学校大门的位置, 这一认知操作则属于空间更新。

收稿日期: 2015-04-16

<sup>\*</sup> 四川省教育厅科研项目资助(15SA0043、16ZB0152); 西南科技大学社会科学支持计划科研团队支持项目资助(13sxt009)

通讯作者: 刘传军, E-mail: chuanjun\_liu@163.com; 辛勇, E-mail: 65136855@qq.com.

Kelly, Avraamides 和 Loomis (2007) 讨论了被试实现空间更新的条件, 被试在原环境中学习完一个空间场景后, 进行了 4 个实验: 在原地转到新方向上完成空间方位判断任务; 转移到新环境中进行相同的实验; 在新环境中完成一组实验任务后返回原环境中再完成一组实验任务; 在新环境中给予明确的想象指导语(如, “想象你站在原来学习的位置, 面对学习方向”)或者通过虚拟现实技术操作新环境与原环境在视觉上的相同或不同来进行实验。该研究发现明确的自我中心想象指导语、空间环境的相似性等对促进空间更新具有同等有效性。感觉运动一致效应在原环境中出现而在新环境中没有出现。肖承丽和刘传军(2014)在对 Kelly 等的实验进行重复验证时, 发现被试在进入新环境后, 会采用想象平移策略来完成空间更新, 并不一定从长时空间记忆中重新提取离线表征信息而是维持着平移后的在线表征信息来进行空间更新。因此, 有必要对这两个看似相互矛盾的研究结论进行深入分析。

对比 Kelly 等(2007)与肖承丽和刘传军(2014)的实验结果可知, 如果按照 Kelly 等的实验逻辑, 则肖承丽等的被试在原环境和新环境中都应出现感觉运动一致效应, 成功实现空间更新。而实际上肖承丽等人发现被试在新环境中的初始朝向与在原环境中的初始学习朝向相反时, 没有出现感觉运动一致效应甚至没有出现记忆一致效应。Kelly 等与肖承丽等都用了双系统加工理论来对自己的实验结果进行了合理的解释。肖承丽等将其与 Kelly 等不同的实验结果, 解释为被试通过想象平移的认知策略, 平移了在线表征, 而与离线提取的表征相冲突, 从而导致了新环境中没有出现一致效应。

Kelly 等(2007)与肖承丽和刘传军(2014)的实验结果有所不同, 但也存在一定共性。Kelly 等的被试在新环境中空间更新失败, 未出现感觉运动一致效应。而肖承丽等的实验中, 新环境下测试的 0 度组和迷向组虽然出现了感觉运动一致效应, 但其显著性也大幅下降甚至只是边缘显著。这说明躯体运动<sup>1</sup>对空间更新的促进作用可能有所下降。Kelly 等与肖承丽等都没有对躯体运动和记忆对空间更新的

促进作用<sup>2</sup>进行比较。从实验任务来看, 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用都是被试内因素, 在原环境和新环境中, 这两种促进作用都是被试实现空间更新的重要线索, 并且记忆对空间更新的促进作用是检验被试对场景记忆质量的重要指标(Yamamoto & Shelton, 2009)。因此, 有必要将躯体运动和记忆对空间更新的促进作用进行直接比较。据此, Kelly 等与肖承丽等实验的差异性也存在另一种可能解释: 被试的躯体运动对空间更新的促进作用, 相较于记忆对空间更新的促进作用, 具有环境依赖效应, 躯体运动对空间更新的促进作用可能更多存在于原环境中, 而对于新环境中这种促进作用因表征的清晰度下降或场景线索的消失而降低。因为躯体运动对空间更新的促进作用降低, 导致肖承丽等的被试, 即使在新环境中出现了感觉运动一致效应, 显著性也大幅度降低。而 Kelly 等的被试则因虚拟场景模拟的新环境对被试的感知觉支持消失, 导致被试的感觉运动一致效应消失, 空间更新失败。

本研究将使用 Kelly 等(2007)和肖承丽和刘传军(2014)的研究范式, 被试记忆完空间场景后, 旋转到新方向完成 3 个想象朝向(记忆一致朝向、感觉运动一致朝向、不一致朝向)的空间判断任务, 如图 1 所示。当被试在记忆空间场景时, 其记忆一致、感觉运动一致朝向相同。而在测试阶段被试转到新方向, 此时其记忆一致朝向依然不变, 而感觉运动一致朝向变为 90 度方向(若向左转, 则为 270 度方向)。在本研究中, 以记忆一致朝向为对称轴, 取与感觉运动一致朝向相反方向为不一致朝向。从 3 个想象朝向(记忆一致、感觉运动一致和不一致)进行空间判断任务的成绩, 分别代表了这 3 个朝向上空间表征信息提取的清晰度。记忆一致朝向为被试初始学习的朝向, 与不一致朝向相比, 其操作成绩的优势代表被试的记忆对空间更新的促进作用水平。因此, 记忆对空间更新的促进作用操作化为不一致朝向与记忆一致朝向的成绩差值。同理, 感觉运动一致朝向为被试当前身体所处朝向, 与不一致朝向相比, 其操作成绩的优势代表被试的躯体运动对空间更新的促进作用水平。因此, 躯体运动对空间更新的促进作用操作化为不一致朝向与感觉运动一致朝向的成绩差值。

<sup>1</sup> “躯体运动”是指被试记忆完空间场景后戴上眼罩, 在原地或者到达新的环境中, 接收到想象指导语(如“想象你面对着小球”)和转向指导语(如“请转动身体, 面对蜡烛(或杯子, 被试间平衡)”), 而后跟随指导语转动身体到新方向这一过程。转动躯体的过程所提供的感知觉信息, 在后期的空间方位判断任务中, 帮助被试更好地完成身体实际朝向上的实验任务。

<sup>2</sup> 记忆对空间更新的促进作用是指被试记忆完一个空间场景后, 从初始记忆朝向上相比于不一致朝向上完成空间想象任务的优势性。

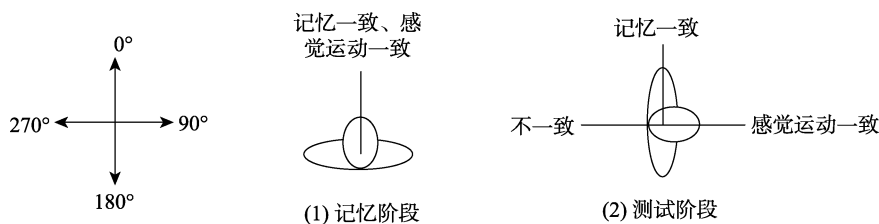


图1 空间判断任务示意图

根据双系统加工理论,被试在原环境和新环境中可能使用在线空间表征系统或者离线空间表征系统。而躯体运动和记忆对空间更新的促进作用受到被试所使用的空间表征类型的影响。因此,本研究分别设计了实验1和实验2检验被试在原环境和新环境中躯体运动和记忆对空间更新不同的促进作用。实验1的被试在原环境中依靠在线空间表征系统完成实验,因此两种促进作用成绩可能没有显著差异。实验2的被试在新环境中完成实验任务时可能存在3种情况:一是在线空间表征被完全中断,被试只能依靠离线表征信息进行认知操作;二是被试通过离线表征系统提取的信息与在线表征系统维持的信息相协调,即保持离线空间记忆提取方向与学习方向相同;三是被试通过离线表征系统提取的信息与在线表征系统维持的信息相矛盾,即离线提取空间表征的方向与学习方向相反。在这3种情形中,因环境的改变而使在线空间表征受到一定程度的干扰或中断并且失去原环境的感知觉支持。因此,基于在线表征系统的躯体运动对空间更新的促进作用可能降低,被试的躯体运动和记忆对空间更新的促进作用可能呈现不同。这两种促进作用有其共同的空间能力基础,所以,所有实验中,躯体运动和记忆对空间更新的促进作用应高度正相关。

## 2 实验1 原环境中躯体运动促进空间更新

被试在原环境中记忆完空间场景后,原地转到新的方向直接完成实验任务,旨在探讨被试在在线空间表征系统下,躯体运动和记忆对空间更新的促进作用之间的关系。

### 2.1 方法

#### 2.1.1 被试

自愿参加实验的20名在校大学本科生和研究生(10男10女),年龄19~26岁,视力或矫正视力正常。实验后获得一定报酬。

#### 2.1.2 实验材料

实验场景为根据 Kelly 等(2007)的研究,结合

实际条件改组的场景,与肖承丽和刘传军(2014)研究中的场景布置完全一致,如图2所示。在一个长6.50 m,宽4.36 m,高2.70 m的实验室中进行。8个常见物品均匀环绕在被试四周,距离被试1 m。实验室内墙洁净,无环境线索可影响被试的空间判断。实验室灯为内嵌式日光灯,保持实验室各区域光线均匀。外墙窗户用遮光布掩盖。

实验任务的每一个试次(trial)由两条指令组成:想象指令(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。

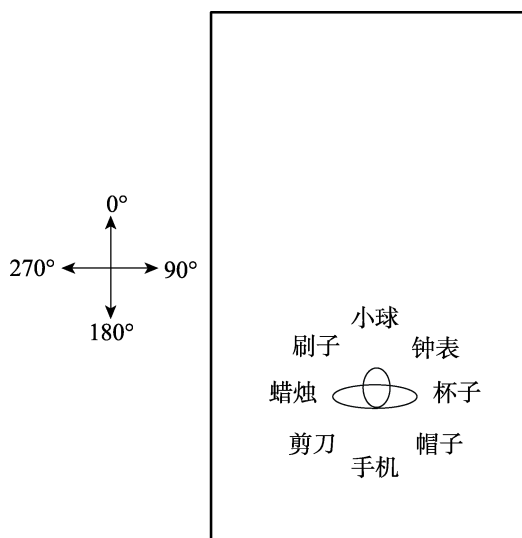


图2 实验场景示意图

### 2.1.3 实验设计与实验程序

本实验为被试内设计,所有被试均完成3个想象朝向的空间方位判断任务。

被试记忆完毕后,原地旋转90度到新方向(向左或向右,被试间平衡),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(随机呈现),共2组,48个试次。

实验中保持向左或向右转的人数和性别平衡。3个想象朝向的操作任务为被试内变量。观测指标为被试的反应时间(物体指向指令结束至被试扳动

游戏杆之间的反应时间)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)。

实验分练习实验与正式实验两部分, 分别在接待室和实验室进行。练习实验部分旨在使被试理解实验流程和熟悉游戏杆。练习实验时, 使用一个 4 个物体(与正式实验的 8 个物体完全不同)的简单场景。练习实验与正式实验的任务操作指令完全相同。主试介绍完实验要求和操作注意事项后, 被试练习数次, 直到完全明白实验流程和实验要求为止。

练习实验完成后, 主试将被试带至实验室门口, 戴上眼罩, 引导被试进入实验室, 站在初始学习位置, 面向小球, 如图 2。被试站定后, 取下眼罩, 双脚站定但可以转动上身以查看四周物品。主试依次介绍物品名称, 并要求被试指认 10 遍, 在指认过程中记忆物品所在位置, 指认节奏和顺序不限。

被试记忆完成后, 戴上眼罩, 装配好游戏杆和无线耳机。主试口述指导语: “请转动身体, 面向杯子(或蜡烛, 被试间平衡)。”被试正确转向后开始操作任务。被试触动游戏杆上的按键, 电脑通过无线耳机播放第一条指令: “想象你面对着小球(或杯子, 或蜡烛, 三个物体随机出现且相邻试次不重复出现)”被试想象完成后, 触动游戏杆上的另一个键, 电脑通过无线耳机播放第二条指令: “请指向小球(或场景中其他 7 个物体, 所有物体随机出现)”此时, 被试以第一条指令中物体的视角, 快速而准确地扳动游戏杆, 指向第二条指令中的物体。游戏杆记录下第二条指令结束至被试扳动游戏杆之间的反应时间, 以及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, 即绝对角度误差。

## 2.2 结果与分析

首先为了检验被试是否成功做到了空间更新, 根据前人的研究数据分析惯例(Kelly et al., 2007; Kelly & McNamara, 2008; Mou, McNamara, Rump, & Xiao, 2006; 肖承丽, 刘传军, 2014), 用 SPSS 20.0 对被试在 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)上的成绩进行重复测量方差分析, 想象朝向为被试内变量。若记忆一致朝向与不一致朝向成绩具有显著差异则说明出现了记忆一致效应, 若感觉运动一致朝向与不一致朝向成绩具有显著差异则说明出现了感觉运动一致效应。实验结果如图 3 所示。

反应时的结果显示, 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 20.28, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.52$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应显著,  $F(1,19) = 48.92, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.72$ ; 感觉运动一致效应显著,  $F(1,19) = 18.56, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.49$ 。绝对角度误差结果显示, 想象朝向的主效应不显著,  $F(2,38) = 1.35, p > 0.05$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应不显著,  $F(1,19) = 3.32, p > 0.05$ ; 感觉运动一致效应不显著,  $F(1,19) = 1.11, p > 0.05$ 。

综合被试的反应时和绝对角度误差结果, 被试存在显著的记忆一致效应和感觉运动一致效应。这说明被试成功做到了空间更新, 可以对其躯体运动和记忆对空间更新的促进作用进行比较。

用不一致朝向减去记忆一致朝向的操作成绩, 得到被试的记忆对空间更新的促进作用成绩; 用不一致朝向减去感觉运动一致朝向的操作成绩, 得到被试的躯体运动对空间更新的促进作用成绩。然后, 用 SPSS 20.0 对此两项成绩进行皮尔逊相关分析和

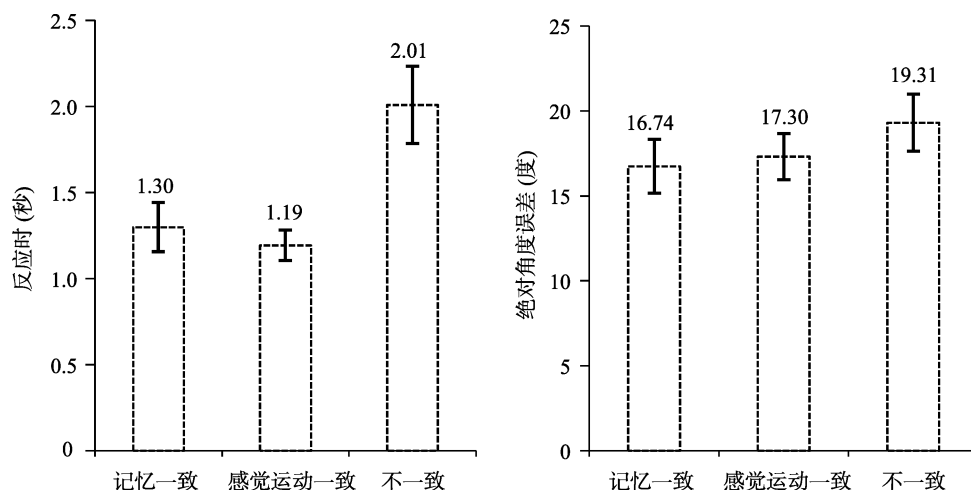


图 3 实验 1 中被试的反应时(秒)和绝对角度误差(度)结果, 其中, 误差线为代表被试间变异的标准误。

配对样本  $t$  检验。反应时结果为  $r = 0.89, p < 0.001$ ;  $t(1, 19) = -0.96, p > 0.05$ ; 绝对角度误差结果为  $r = 0.58, p < 0.01$ ;  $t(1, 19) = -0.36, p > 0.05$ 。这表明躯体运动和记忆对空间更新的促进作用高度正相关, 且无显著差异。

### 2.3 讨论

实验结果验证了 Kelly 等(2007)和肖承丽和刘传军(2014)的研究结论, 被试在原环境中成功做到了空间更新, 出现了显著的记忆一致效应和感觉运动一致效应。这说明实验所使用的研究范式是恰当的。躯体运动和记忆对空间更新的促进作用成绩没有显著差异, 且高度正相关, 验证了研究假设。当被试在原环境中进行空间更新认知操作前, 不需要重新提取表征信息, 可直接在学习过程中所建立的在线空间表征上进行更新操作。因此, 被试随着躯体运动来更新了当前躯体朝向, 促进了之后的空间方位判断。躯体运动和记忆对空间更新的促进作用相比具有同等有效性。

但是, 当前实验操作比较简单, 且是在原学习环境中直接进行的空间更新认知操作。而这种空间更新操作过程中, 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用的同等有效性现象是否在新环境的测试中依然存在, 则需要进一步验证。根据双系统加工理论, 进入新环境中进行测试的被试, 必须首先借助于长时空间记忆系统, 提取出离线空间表征信息, 然后再进行下一步的空间更新的认知操作。空间表征信息提取的质量如何, 将直接影响到后续的空间更新的认知操作。记忆对空间更新的促进作用无论依靠在线空间表征系统还是离线空间表征系统都可以实现, 而躯体运动对空间更新的促进作用则更多地会依赖在线的空间表征系统, 就如 Kelly 等人的研究, 在离线表征系统下, 感觉运动一致效应有可能消失。因此, 在新环境中, 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用在数据分布上可能存在显著差异。而另一方面, 这两种促进作用, 都会受到记忆表征清晰度等相关因素的影响, 具有相同的内部机制, 因此, 这两种促进作用在数据分布上可能高度相关。

## 3 实验 2 新环境中躯体运动促进空间更新

实验 2 被试在新环境中完成与实验 1 相同的空间判断任务。本实验操纵了被试完成空间任务所依赖的离线空间表征与在线空间表征的关系。实验 2a

为基于离线表征的空间更新实验, 通过迷向<sup>3</sup>使被试完全依靠离线表征来完成空间更新; 实验 2b 为离线与在线表征相协调下的空间更新实验, 使被试离线提取的表征方向与在线表征方向相同下完成空间更新; 实验 2c 为离线与在线表征相冲突下的空间更新实验, 使被试离线提取的表征方向与在线表征方向相反下完成空间更新。

### 3.1 方法

#### 3.1.1 被试

自愿参加实验的 60 名在校大学本科生和研究生(30 男 30 女, a, b, c 三个分实验各 10 男 10 女), 年龄 19~26 岁, 视力或矫正视力正常。实验后获得一定报酬。

#### 3.1.2 实验材料

与实验 1 的实验场景基本相同, 如图 2。在此实验场景基础上, 参考肖承丽和刘传军(2014), 使用高 2 m 的遮光布帘将实验室平均划分为学习空间和测试空间。实验 2 所用游戏杆和无线耳机和实验 1 完全相同。

#### 3.1.3 实验设计

所有分实验均为被试内设计, 分实验的所有被试均完成 3 个想象朝向的空间判断任务。每个被试随机分配到其中一个分实验。

#### 3.1.4 实验程序

练习实验与实验 1 相同。正式实验中, 实验 2a 被试记忆完场景后戴上眼罩, 主试引导被试在实验室中绕圈, 并最终停留在测试空间的测试位置, 面对着初始学习朝向的相反方向。主试口述指导语: “请指出实验室的门所在方向”, 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, 反之则还没有迷向, 主试再次引导被试在房间中绕圈, 直至迷向。被试迷向后, 面对初始学习方向的相反方向站立, 摘下眼罩并找到实验室的门实际所在方向, 从而确定自己在实验室中所处的位置。被试确定后, 再次戴上眼罩, 装配好无线耳机和游戏杆。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)。被试正确转向后, 完成与实验 1 完全相同的测试任务。

<sup>3</sup> 此实验操作方法参考 Waller, Montello, Richardson 和 Hegarty (2002) 的曲折路径方法, 以保证被试的在线表征被破坏从而使其从离线记忆系统中提取表征信息。该方法的有效性在肖承丽和刘传军(2014)的研究中也得到了验证。

实验 2b 和实验 2c 中被试学习阶段结束后, 直线穿过遮光布帘走到测试空间中央。实验 2b 被试保持初始学习朝向, 实验 2c 被试原地旋转 180 度, 面对初始学习朝向的相反方向。被试站定后戴上眼罩, 装配好游戏杆和无线耳机, 后续实验过程与实验 2a 相同。

### 3.2 结果与分析

首先, 使用 SPSS 20.0 将 3 个分实验的反应时和绝对角度误差进行统计, 并按想象朝向(记忆一致朝向、感觉运动一致朝向、不一致朝向)进行重复测量方差分析, 想象朝向是被试内变量。

反应时的结果如图 4 所示, 实验 2a 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 10.48, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.36$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应显著,  $F(1,19) = 12.83, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.40$ ; 感觉运动一致效应显著,  $F(1,19) = 8.44, p < 0.01, \eta_p^2 = 0.31$ 。实验 2b 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 7.06, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.27$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应显著,  $F(1,19) = 9.90, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.34$ ; 感觉运动一致效应显著,  $F(1,19) = 4.68, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.20$ 。实验 2c 想象朝向的主效应不显著,  $F(2,38) = 1.32, p > 0.05, \eta_p^2 = 0.07$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应不显著,  $F(1,19) < 1$ ; 感觉运动一致效应不显著,  $F(1,19) = 3.01, p > 0.05$ 。

绝对角度误差结果如图 5 所示, 实验 2a 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 11.83, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.38$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应显著,  $F(1,19) = 24.38, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.56$ ; 感觉运动一致效应显著,  $F(1,19) = 4.79, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.20$ 。实验 2b 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 12.50, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.40$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应显著,  $F(1,19) = 19.95, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.51$ ; 感觉运动一致效应显著,  $F(1,19) = 12.00, p < 0.005, \eta_p^2 = 0.39$ 。实验 2c 想象朝向的主效应显著,  $F(2,38) = 3.40, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.15$ ; 计划比较发现, 记忆一致效应边缘显著,  $F(1,19) = 4.15, p = 0.056, \eta_p^2 = 0.18$ ; 感觉运动一致效应不显著,  $F(1,19) = 1.50, p > 0.05$ 。

综合反应时和绝对角度误差结果, 实验 2a、2b 被试存在显著的记忆一致效应和感觉运动一致效应; 实验 2c 被试不存在显著的记忆一致效应和感觉运动一致效应。

对记忆和躯体运动对空间更新的促进作用成绩进行皮尔逊相关分析和配对样本  $T$  检验, 结果分别见表 1、表 2。

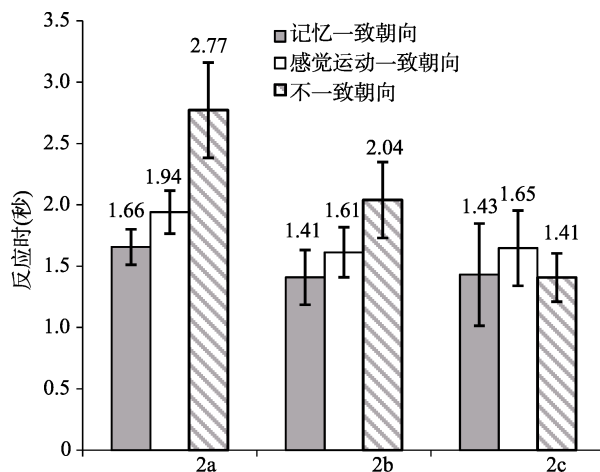


图 4 实验 2 中被试的反应时(秒)结果, 其中, 误差线为代表被试间变异的标准误。

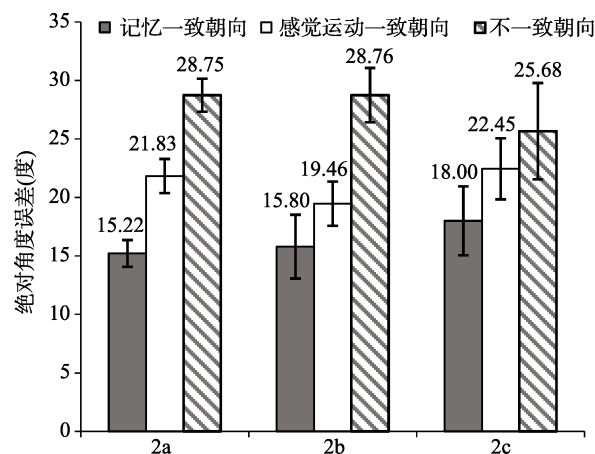


图 5 实验 2 中被试的绝对角度误差(度)结果, 其中, 误差线为代表被试间变异的标准误。

表 1 实验 2 记忆和躯体运动对空间更新的促进作用的相关分析

分析指标	实验 2a		实验 2b		实验 2c	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
反应时	0.93	0.000	0.89	0.000	0.96	0.000
绝对角度误差	0.68	0.001	0.63	0.003	0.81	0.000

### 3.3 讨论

首先, 实验 2a 的结果验证了 Avraamides, Galati 和 Papadopoulou (2013)以及肖承丽、刘传军(2014)的研究, 证明被试在迷向的情况下, 在线空间表征被中断。被试首先从离线记忆中提取出空间表征信息, 加载到当前在线的环境表征之上, 在随后的躯体运动中, 依靠躯体运动对空间更新的促进作用完成空间判断任务。而在这个过程中, 记忆对空间更新的促进作用, 主要在于提取和再现空间表征信息, 躯体运动对空间更新的促进作用则在于对这一表

表 2 实验 2 记忆和躯体运动对空间更新的促进作用的差异比较

分析指标	实验 2a			实验 2b			实验 2c		
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>
反应时	2.41	0.026	0.21	2.16	0.044	0.23	2.15	0.045	0.26
绝对角度误差	2.77	0.012	0.50	1.52	0.145	—	1.97	0.064	—

征信息进行认知操作。而这与实验 1 的不同之处在于,实验 1 中的被试无须从离线记忆系统中提取空间记忆表征,可直接进行认知操作。被试在完成空间判断任务时,既可以依靠躯体运动对空间更新的促进作用,也可以依靠清晰的空间表征信息进行心理旋转来实现,或者两者同时进行。因此,实验 1 中的被试表现出躯体运动和记忆对空间更新的促进作用成绩无显著差异。

其次,实验 2b 的结果支持了 Mou, McNamara, Valiquette 和 Rump (2004)等人的研究结论,表明在没有任何措施进行阻断的情况下,被试保持其初始学习朝向移动到新环境中进行测试时,被试可以将离线提取的表征信息与当前的环境相协调,从而成功实现空间更新。肖承丽和刘传军(2014)也验证了这一现象。而本研究关注的重点在于被试在新环境中通过躯体运动促进空间更新是否与通过记忆促进空间更新同等有效。从实验 2b 的程序来看,被试移动到新环境中后,首先要通过想象提取出记忆表征信息,加载到当前的新环境中,并维持这一表征信息,为之后的空间更新操作提供基础。这一过程主要由记忆对空间更新的促进作用来支撑。而在空间更新的过程中,被试则主要依靠躯体运动对空间更新的促进作用来完成操作任务。因此这两种促进作用在统计上呈现出显著的差异。

再次,实验 2c 的被试空间更新失败,没有出现显著的记忆一致效应和感觉运动一致效应。这支持了肖承丽和刘传军(2014)对想象平移策略的讨论。被试在学习完空间场景后,为了更好地完成后续的空间判断任务,在移动到新环境中时有意识地平移了整个空间场景。但是,到新环境后,被试被要求从初始学习朝向相反的方向进行空间表征信息的提取,这使得其提取的离线表征信息与其维持的在线表征信息相矛盾,从而在身体转动到新方向后,未能实现空间更新,不能表现出感觉运动一致效应。也正因如此,被试在 3 个想象朝向上的反应成绩的差异缩小,导致躯体运动和记忆对空间更新的促进作用成绩之间的相关性反而升高,并且两者的差异性边缘显著( $p = 0.064$ )。

实验 2 对“只依靠离线表征”、“离线表征与在

线表征相协调”和“离线表征和在线表征相矛盾”三个分实验的界分,逻辑上来自于目前主流的双系统加工理论。当被试进入新环境后,其在线表征如果完全消失,那么只能依靠离线表征提取,来完成空间判断任务。本研究使用了迷向来确保其只能依靠离线表征系统(Waller & Hodgson, 2006)。如若其在线空间表征依然存在,那么,再次提取的离线空间表征则可能与在线表征相协调或者相矛盾。在这 3 种条件下考察被试在新环境中躯体运动和记忆对空间更新的促进作用的关系,在逻辑上是全面的。而这 3 种条件下,均发现被试的躯体运动和记忆对空间更新的促进作用出现显著差异。这说明被试一旦进入新环境中,需要再次提取空间表征信息时,躯体运动对空间更新的促进作用降低,表现出环境依赖效应。

4 总讨论

在本研究中,被试的记忆对空间更新的促进作用支持其完成空间场景的记忆和离线表征信息的提取。而躯体运动对空间更新的促进作用则帮助被试切换与空间判断任务相关的视角来完成空间判断任务。这两者既有区别又存在密切联系。从实验 1 和实验 2 的结果来看,被试无论在原环境还是新环境中完成空间判断任务,这两种促进作用都是高度相关的。而当被试只是在学习环境中完成空间判断任务时(实验 1),由于被试不必重新提取空间表征,加载到当前的想象空间环境中,而直接进行空间更新行为,躯体运动和记忆对空间更新的促进作用在统计上无显著差异。被试记忆完空间场景,走到新环境(实验 2)中,再次提取空间表征信息,加载到当前的想象空间环境中,然后再进行空间更新的认知操作。这一过程中,记忆的促进作用在于被试的记忆表征提取和维持阶段,而在空间更新阶段则主要由躯体运动的促进作用主导完成。因此,实验 2 的被试在这两种促进作用成绩上均表现出了显著的差异。这说明躯体运动对空间更新的促进作用与记忆对空间更新的促进作用相比,具有显著的环境依赖效应,一旦被试离开了初始记忆的客观环境,躯体运动对空间更新的促进作用就会大幅度降低。

综合实验 1 和实验 2 的结果, 躯体运动促进空间更新的环境依赖效应的出现, 其表层原因是测试环境的改变, 被试转移到新环境的过程中, 失去了原环境所提供的感知觉支持。而其深层原因则是被试完成空间判断任务所依赖的表征系统发生变化。在原环境中的被试不需要重新提取离线表征来完成空间更新操作, 而在新环境中的被试则必须重新提取离线表征信息加载至在线更新系统再完成空间更新操作。这说明躯体运动促进空间更新依赖于清晰的在线表征信息, 如果被试从原环境中转移到新环境, 躯体运动对空间更新的促进作用就会降低。在 Kelly 等(2007)的实验中, 被试在新环境中空间更新失败, 也可以解释为虚拟现实场景本身的失真性导致躯体运动对空间更新的促进作用大幅下降。而肖承丽和刘传军(2014)在新环境中的被试通过想象平移等策略成功实现了空间更新, 但其感觉运动一致效应比记忆一致效应弱, 甚至只是边缘显著。肖承丽和刘传军(2014)使用的真实场景, 相比 Kelly 等人所使用的虚拟场景而言, 场景本身所提供的感知觉线索更丰富。这是该两项研究结论差异性的另一个可能的解释。本研究则在这种差异性的基础上, 发现了一个共同的规律: 躯体运动促进空间具有环境依赖效应, 被试从原环境转移到新环境后, 躯体运动对空间更新的促进作用会下降。即使被试在新环境中能够实现空间更新, 其更新效率也会因环境的改变而下降。

当前学界对空间更新行为的关注点集中在空间更新行为成功的条件和影响因素等(Avraamides & Carlson, 2003; Farrell & Robertson, 2000; Farrell & Thomson, 1998; Loomis, Lippa, Golledge, & Klatzky, 2002; Mou et al., 2004, 2006; Rieser, Pick, Ashmead, & Garing, 1995; Shelton & Marchette, 2010; Sholl & Bartels, 2002; Wang, 2004, 2012; Wang & Spelke, 2000; Xiao, 2013; Xiao, Mou, & McNamara, 2009)。这些研究从测试环境与记忆环境的相似性(Avraamides et al., 2013), 表征提取的方向和视角(Galati, Michael, Mello, Greenauer, & Avraamides, 2013; Waller et al., 2002)等方面对空间更新行为进行了研究。但是, 这些研究都缺乏对躯体运动和记忆对空间更新的促进作用的差异性的关注, 而这正是本研究的主要议题。从研究结果来看, 躯体运动对空间更新的促进作用与记忆对空间更新的促进作用相比, 更加依赖于在线表征系统, 躯体运动所提供的感知觉信息在在线表征系统的主导下, 对空

间更新的促进作用更具有效性。

以往研究者一般认为空间更新只能在个体当下的空间环境进行, 并且通过迷向(如 Waller & Hodgson, 2006; Wang & Spelke, 2000; Xiao et al., 2009)或者转移至新环境(如 Roskos-Ewoldsen, McNamara, Shelton, & Carr, 1998; Wang & Brockmole, 2003)以使感知觉支持消失, 均会导致空间更新失败。但近年来的一些研究发现人们可以通过躯体运动来帮助自己对想象环境进行空间更新(Avraamides et al., 2013; Kelly et al., 2007; Rieser, Garing, & Young, 1994; Wang, 2004; 肖承丽, 刘传军, 2014)。而本研究则将躯体运动对空间更新的促进作用进行了更加细致的区分, 通过实验表明躯体运动对实现空间更新的促进作用, 在原环境和新环境中均存在。但躯体运动促进空间更新具有环境依赖效应, 当被试从原环境转移至新环境后, 这种促进作用有所下降。

本研究深化了学界对躯体运动促进空间更新的认识, 揭示了躯体运动促进空间更新的环境依赖效应。但目前的研究还无法解释这种依赖效应除与客观环境及其相应的表征系统相关之外, 是否存在其他影响因素等问题。在未来的研究中, 可从以下方面推进:

第一, 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用的认知神经机制研究。虽然已有部分研究表明这两种促进作用有所不同, 但尚且缺乏对这两种促进作用相关联的脑区及其脑神经活动特征的研究。如果在认知行为实验基础上, 推进认知神经机制的同步研究, 将对这两种促进作用的差异性有更深入的认识。

第二, 躯体运动和记忆对空间更新的促进作用在空间更新行为中所作用阶段的研究。空间更新行为有表征提取、表征维持、表征操作等多个想象运动阶段。在目前的研究中, 尚且无法确定两种促进作用分别在空间更新行为中哪个阶段发生作用。因此, 在未来的行为实验研究中, 有必要分阶段地研究这两种促进作用所发生的阶段及其差异。

第三, 针对躯体运动和记忆对空间更新的促进作用, 进行空间能力训练研究。在以上研究基础上, 有必要对如何有针对性地训练与提升这两种促进作用进行研究, 这对于帮助扫除“路盲”等, 提高人们的空间行为能力均有重要意义。

## 5 结论

通过实验, 本研究深化了学界对躯体运动促进

空间更新的认识,发现躯体运动促进空间更新具有环境依赖效应,与记忆对空间更新的促进作用相比,躯体运动对空间更新的促进作用效率会随着环境的改变而降低。

### 参 考 文 献

- Avraamides, M. N., & Carlson, R. A. (2003). Egocentric organization of spatial activities in imagined navigation. *Memory and Cognition*, 31(2), 252–261.
- Avraamides, M. N., Galati, A., & Papadopoulou, C. (2013). Egocentric updating of remote locations. *Psychological Research*, 77(6), 716–727.
- Avraamides, M. N., & Kelly, J. W. (2008). Multiple systems of spatial memory and action. *Cognitive Processing*, 9, 93–106.
- Bahner, F., Plichta, M. M., Demanuele, C., Schweiger, J., Durstewitz, D., Tost, H., ... Meyer-Lindenberg, A. (2014). Hippocampus-Dorsolateral prefrontal cortex coupling during a translational paradigm predicts spatial working memory performance in humans. *Biological Psychiatry*, 75(9), 104S.
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12), 551–557.
- Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (2000). The automatic updating of egocentric spatial relationships and its impairment due to right posterior cortical lesions. *Neuropsychologia*, 38, 585–595.
- Farrell, M. J., & Thomson, J. A. (1998). Automatic spatial updating during locomotion without vision. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 51, 637–654.
- Galati, A., Michael, C., Mello, C., Greenauer, N. M., & Avraamides, M. N. (2013). The conversational partner's perspective affects spatial memory and descriptions. *Journal of Memory and Language*, 68(2), 140–159.
- 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(6), 1092–1107.
- Kelly, J. W., & McNamara, T. P. (2008). Spatial memories of virtual environments: How egocentric experience, intrinsic structure, and extrinsic structure interact. *Psychonomic Bulletin and Review*, 15, 322–327.
- Loomis, J. M., Lippa, Y., Golledge, R. G., & Klatzky, R. L. (2002). Spatial updating of locations specified by 3-D sound and spatial language. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(2), 335–345.
- Mou, W., Fan, Y., McNamara, T. P., & Owen, C. B. (2008). Intrinsic frames of reference and egocentric viewpoints in scene recognition. *Cognition*, 106(2), 750–769.
- Mou, W., McNamara, T. P., Rump, B., & Xiao, C. L. (2006). Roles of egocentric and allocentric spatial representations in locomotion and reorientation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(6), 1274–1290.
- Mou, W., McNamara, T. P., Valiquette, C. M., & Rump, B. (2004). Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(1), 142–157.
- 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.
- Rieser, J. J., Pick, H. L., Ashmead, D. H., & Garing, A. E. (1995). Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 480–497.
- 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(3), 686–698.
- Sholl, M. J., & Bartels, G. P. (2002). The role of self-to-object updating in orientation-free performance on spatial memory tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 422–436.
- Solntseva, S. V., Storozheva, Z. I., & Nikitin, V. P. (2012). Long-term spatial memory retrieval at different times following formation in single session training in rats. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 153(5), 617–619.
- Waller, D. (2006). Egocentric and nonegocentric coding in memory for spatial layout: Evidence from scene recognition. *Memory and Cognition*, 34(3), 491–504.
- Waller, D., & Hodgson, E. (2006). Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(4), 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(6), 1051–1063.
- Wang, R. F. (2003). Spatial representations and spatial updating. *Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory: Cognitive Vision*, 42, 109–156.
- Wang, R. F. (2004). Between reality and imagination: When is spatial updating automatic? *Perception and Psychophysics*, 66, 68–76.
- Wang, R. F. (2012). Theories of spatial representations and reference frames: What can configuration errors tell us? *Psychonomic Bulletin and Review*, 19(4), 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., & Spelke, E. S. (2000). Updating egocentric representations in human navigation. *Cognition*, 77(3), 215–250.
- Won, B. Y., & Jiang, Y. V. (2014). Spatial working memory interferes with explicit, but not probabilistic cuing of spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(3), 787–806.
- Xiao, C. L., Mou, W. M., & 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(5), 1137–1147.
- Xiao, C. L. (2013). Stable egocentric representation acquired from sequential proprioceptive learning. *Acta Psychologica Sinica*, 45(7), 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(7), 752–761.]
- Xiao, C. L., & Liu, C. J. (2014). Spatial updating of imagined environment. *Acta Psychologica Sinica*, 46(9), 1289–1300.
- [肖承丽, 刘传军. (2014). 对想象环境的空间更新. *心理学报*, 46(9), 1289–1300.]
- Yamamoto, N., & Shelton, A. L. (2009). Orientation dependence of spatial memory acquired from auditory experience. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16(2), 301–305.
- Zhang, Z. Q., Zheng, J. L., Shu, S. Y., Wu, Y. M., Guo, Z. Y., Liu, S. H., ... Ma, H. Z. (2008). A study on spatial working memory in human brain by functional magnetic resonance imaging technique. *Chinese Journal of Nervous and Mental Diseases*, 34(6), 338–341.
- [张增强, 郑金龙, 舒斯云, 吴永明, 郭周义, 刘颂豪, ... 马翰章. (2008). 健康人脑空间工作记忆的脑功能磁共振研究. *中国神经精神疾病杂志*, 34(6), 338–341.]

## Environment dependent effect of body movement promoting spatial updating

LIU Chuanjun; XIN Yong; ZHANG Fuhong; FENG Chun; CHEN Youping

(<sup>1</sup> Institute of law, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

(<sup>2</sup> Research and Instruction Center of Mianyang Adolescents' Psychological Growth, Mianyang 621010, China)

### Abstract

Kelly et al. (2007) studied sensorimotor alignment effects in the learning environment and novel environment. It found that sensorimotor alignment effects disappeared in the novel environment. But Xiao and Liu (2014) found that sensorimotor alignment effects always appeared in the novel environment except when participants faced the opposite direction to the learning direction. These two studies' results were both interpreted by the dual system spatial memory theories, which made a hypothesis that sensorimotor and memory alignment effects need different representations. The reason might be that the different promoting extend of memory and body movement to the spatial updating procedure. The promotion effects of memory to spatial updating were efficient both in online and offline representations. Therefore, it is possible to make a comparative study on the two promotion effects of memory and body movement to the spatial updating. The paradigm used in Kelly et al. (2007) was applied in the present study. After remembering a body-centered spatial layout, participants were asked to finish spatial judgments in imagined perspectives (for example, "imagine that you faced A, point to B."). The imagined perspectives were memory-aligned (the imagined perspective was aligned with learning perspective), sensorimotor-aligned (the imagined perspective was aligned with the current body direction) and misaligned (the imagined perspective was neither aligned with learning perspective nor aligned with the current body direction. And it was defined as the opposite direction of sensorimotor-aligned perspective while the learned perspective was the axis of symmetry) perspectives. The promotion of memory to spatial updating was defined as the subtraction of misaligned and memory-aligned performances. The promotion of body movement to spatial updating was defined as the subtraction of misaligned and sensorimotor-aligned performances.

In Experiment 1, 20 participants (10 men) learned a regular 8-object layout and then they turned 90 degrees to the left or right before they performed spatial judgments from a perspective aligned with the learning direction (memory aligned), aligned with the direction they face (sensorimotor aligned), and the novel direction misaligned with the two directions mentioned above (misaligned). In each imagined perspective, participants pointed to all the 8 objects of the layout (e.g. "Imagine that 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). Participants in experiment 2 finished the same spatial judgment task in the novel environment. After learning the spatial layout, the participants of Experiment 2a were disoriented before standing at the testing position in the novel environment, facing 180 degrees opposite to the learning direction. And the participants of Experiment 2b walked straight forward to the testing position in the novel environment remaining in their orientation. The participants of Experiment 2c turned to face the direction opposite to learning perspective after walking straightforward to the novel environment. 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, or misaligned) as the within-subject variable. 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). The same effects appeared in Experiment 2a, 2b, but not 2c. The Pearson correlations between the promotion of memory to spatial updating and promotion of body movement to spatial updating were significantly high in all of the conditions. And these two effects were significantly different only in Experiment 2.

In conclusion, results in the present study indicate that the environment dependent effect of body movement exists. The promotion effect of body movement is equally effective in the learning environment but significantly worse in the novel environment than the promotion effect of memory to spatial updating.

**Key words** body movement; spatial updating; spatial imagination; dual system processing; environment dependent effect.