

移动导航因素对寻路绩效及空间知识获取的影响

江予 韩雪晨 李慧敏 吴佳鑫 房慧聪**

(华东师范大学心理与认知科学学院, 上海, 200062)

摘要 研究探索移动导航因素(导航模式、比例尺)对个体虚拟3D环境下寻路绩效与空间知识获取的影响。研究1建立了适用于虚拟场景寻路的空间知识分类测量任务;研究2在研究1的基础上考察了不同导航因素组合对个体寻路与加工环境知识的影响。结果发现:1、在路线知识的学习上,男性使用固定模式地图的表现显著好于使用旋转模式地图,女性则相反。2、在大比例尺地图上,旋转视角比固定视角更有利于学习路线知识,小比例尺地图则相反。3、寻路绩效存在导航模式的主效应,旋转模式下被试寻路绩效更高。研究结果揭示了导航模式和比例尺的交互作用:导航因素组合若有助于个体建立一致的空间参考框架,将提升路线知识的获取。

关键词 寻路绩效, 空间认知, 移动导航, 空间知识

1 引言

寻路是人们日常生活中探索环境的重要过程。随着科技进步,移动导航设备因其更精确的方向指引被越来越多个体所选择(Isaacson & Shoval, 2006; Löwen et al., 2019)。然而与纸质地图相比,使用导航寻路阻碍个体加工环境空间知识(Ishikawa & Montello, 2006; Willis et al., 2009)。在依赖导航辅助工具的情况下,个体被动接受转向指令,这不利于个体自主获取方向信息和建立空间认知(Löwen et al., 2019; Schwering et al., 2017)。此外,导航辅助可视化也对个体加工环境信息起重要作用,寻路辅助可视化呈现自然寻路视角与邻近环境信息,有利于个体寻路并建立基于自我-物体关系的自我中心参照框架(Burgess, 2006; Burgess et al., 2002; He et al., 2019; Ruginski et al., 2019)。反之,空间学习辅助可视化通过呈现大范围地图以及稳定的外部空间结构支持空间布局学习,进而建立基于物体-物体空间关系的环境中心参照框架

** 通讯作者: 房慧聪, E-mail: hcfang@psy.ecnu.edu.cn

(Bicanski & Burgess, 2018; Bottini & Doeller, 2020; Münzer et al., 2012)。

然而，移动导航因素在支持寻路与空间学习间存在权衡。提供旋转视角与决策点附近的环境信息促进寻路但阻碍整体知识学习(杨林腾, 2020; 张凤翔等, 2023; Gramann et al., 2017; Münzer et al., 2012, 2020)。呈现全局信息的固定模式与小比例尺地图又以牺牲寻路为代价支持整体知识的获取。已有研究多侧重于寻路或空间学习的可视化特征(Ishikawa & Takahashi, 2014; Münzer et al., 2020)，鲜有探讨何种导航因素组合最能促进个体更有效地获取空间知识，增强自发寻路能力。基于空间参考框架理论(McNamara et al., 2003)，个体依据自身感受对运动空间进行编码。鉴于导航模式、比例尺与空间编码方式密切相关，本研究假设当导航因素组合有利于个体建立一致的参考框架时，将促进空间知识掌握，减少跨参照框架整合的认知需求。为了全面评估导航因素组合的影响，本文将同时衡量寻路与空间知识两方面绩效。这与空间知识表征理论(Siegel & White, 1975)观点一致：对环境信息的熟悉程度是成功寻路的关键，且个体在寻路过程将持续学习空间知识。综上所述，本研究旨在探究不同导航因素组合对寻路绩效和空间知识学习的影响，在 10 条路线的学习中促进个体掌握空间布局信息。导航模式上，本研究将延续前人研究中常用的旋转视角与固定北向上视角(Münzer et al., 2012, 2022; Ruginski et al., 2019)。早年移动导航设备的呈现范围有限，近年来研究者虽尝试探索比例尺的影响，如杨林腾(2020) 将比例尺分成了五个水平(1: 50、1: 100、1: 150、1: 200、1: 250、1: 300)进行探究，允许被试在实验中根据需要自由调节比例尺大小，系统自动记录不同比例尺的使用时间，发现 1: 50、1: 200 两种比例尺使用时长对空间知识学习影响显著，但并未将比例尺作为变量控制(杨林腾, 2020)。因此，本研究选择 1: 50、1: 200 两种比例尺（大、小）作为自变量控制。本研究还将性别因素纳入分析，以探究适用于不同性别的最佳导航因素组合。

关于寻路和空间知识的测量，通常情况下，寻路绩效通过时间和距离两个主要指标(杨林腾, 2020; Chen et al., 2021; Coutrot et al., 2019; Hejtmánek et al., 2018; Willis et al., 2009)以及寻路过程中的错误次数(Dahmani & Bohbot, 2020; Slone et al., 2015)、停顿次数(Hejtmánek et al., 2018)、延迟(Morag & Pintelon, 2021)等次要指标测定。在空间知识测量方面，现有理论对三类空间知识是依次发展(Siegel & White, 1975)还是同时发展(Montello, 1993)提出了不同的看法，尚未形成公认的理论框架，但通常采用地标、路线、整体知识等概念：地标知识指环境中显著存在的对象，路线知识包含有顺序的地标与连续决策，整体知识代表环境的布局层次(Siegel & White, 1975)。并通过多种方法进行测量(Ishikawa & Montello, 2006; Nori & Giusberti, 2006; Yang & Merrill, 2022)，具体见表 1。但尚未建立一个符合三类空间知识结构的测量模型。因

此本研究将建立一个适用于虚拟环境的空间知识测量任务，减少测量方法对研究结果的影响。

综上所述，研究 1 将建立空间知识测量模型，明确定义三种空间知识的虚拟环境典型测量任务。研究 2 将使用研究 1 中定义的典型测量任务，研究不同导航因素对虚拟环境中个体寻路和空间知识获取的影响。研究假设在经过 10 条路线的学习后，小比例尺和固定北向上地图可以促进个体空间知识的学习，而大比例尺和旋转视角地图则支持个体寻路。

表 1. 典型空间知识测量任务

空间知识类型	测量任务
地标知识	地标辨认任务(Zhong & Kozhevnikov, 2016)、地标回忆任务(Head & Isom, 2010)
路线知识	路线序列任务(Nori & Giusberti, 2006)、地标转向任务(Head & Isom, 2010) 路线描述任务(Nori & Giusberti, 2006)、路线回忆任务(Merrill et al., 2016)、画路线任务(杨林腾, 2020)
整体知识	指向任务(Ohtsu, 2017)、距离估计任务(Willis et al., 2009) 抄近路任务(Hejtmánek et al., 2018; von Stülpnagel & Steffens, 2012) 路线整合任务(von Stülpnagel & Steffens, 2012)、画地图任务(杨林腾, 2020)

2 研究 1 虚拟环境空间知识测量典型任务的确定

2.1 被试

研究 1 随机招募了 96 名在校大学生（年龄： $M=21.26$ 岁， $SD=1.39$ 岁），男性 48 名，女性 48 名。所有被试视力或矫正视力正常，自愿参加实验。

2.2 实验程序

实验在一个实验室隔间里进行。虚拟场景任务在 14 寸的 Thinkpad X1 Carbon 2018 电脑上完成，分辨率 1920×1080。使用 Unity3D 设计了 1200m×700m 的虚拟地图，被试可以使用固定/旋转视角来观看，见图 1。地图包括 10 条不同的路线，每条路线包含 3-5 个决策点（即路口）(成静等, 2018)，见图 2。空间知识测量在 13.3 寸的华硕 S300C 电脑上完成，分辨率 1024×768。实验程序由 Psychopy 3 软件编写。



图1 实验场景界面（右上角为当前路线编号）

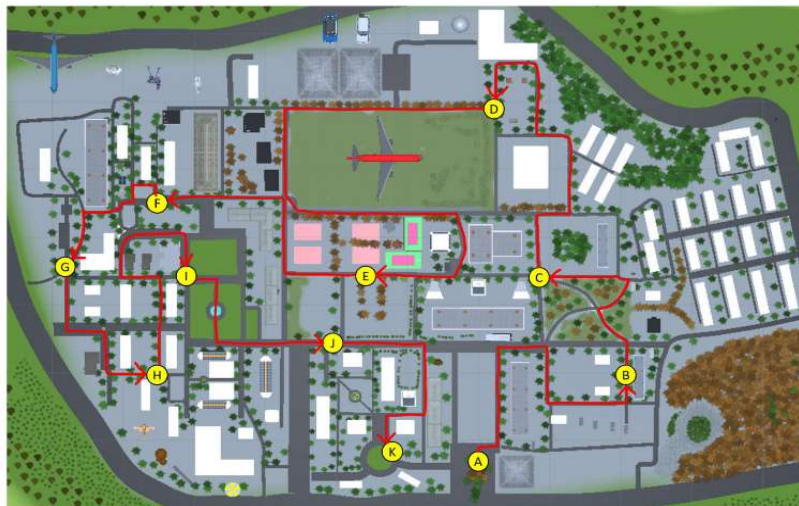


图2 虚拟环境道路布局及路线设计图

研究1分为两个部分：虚拟场景任务与空间知识测量任务。虚拟场景任务主要包括寻路以及返程阶段。寻路阶段中，被试被要求根据导航提示从起点走到终点，实际地图见图2。当被试走错时，需要返回至出错位置继续跟随导航前进。到达目的地后，被试进行角度差任务估计起点方向。返程阶段中，被试从终点以最短距离返回起点，且可以无视地形走动（建筑物除外）。回到起点时返程阶段结束，被试再次进行角度差任务估计终点方向。在寻路及返程阶段中，程序将自动记录被试打开导航时长。完成十条路线的任务后，被试将进行空间环境测试。

研究1的虚拟环境空间知识测量对杨林腾(2020)研究结果进行了筛选与改进。杨林腾(2020)共测试了7项空间知识任务：画地图地标、地标辨认、地标转向、画地图路线、画地图

整体、路线整合,角度差,但因因子分析结果并不符合假设,主要因为画地图(地标/路线/整体)任务归类效果较差。该任务要求被试描述环境中的地标、路线、地图信息,主试分别对描述情况打分。这种测量方式指导语不明确,任务难度较大。因此,本研究首先对画地图路线任务进行了优化,仅要求被试绘制路线内容,使画图更具有针对性,降低任务难度。在路线任务中补充了路线序列任务(Hilton et al., 2023),该任务可以有效测量被试对地标位置关系与路线信息的学习。其次,本研究删除了画地图(地标/整体)任务,在地标任务上保留了广泛使用的地标辨认与地标转向任务,在整体任务中保留了常见的路线整合与角度差任务(Yang & Merrill, 2022)。

- a) 角度差任务:被试想象自己处于圆心,红线表示被试当前朝向,通过左右按键调旋转白线,指出起点/终点方位,以白线与红线的角度差为任务成绩,计算去程返程角度差均值,差值越小成绩越好。示意图见下图 3。
- b) 地标辨认任务+地标转向任务:给被试呈现环境中的地标图片,呈现顺序随机,图片包含被试见过和未见过的地标,被试需判断该地标是否见过并回忆见到该地标时接下来的运动方向。共 24 个地标,每答对一个计 1 分。
- c) 路线序列任务:呈现最后两条路线上地标或路线信息的截图,被试需要按照见到图片的顺序对其排序。示意图如图 4。排序全对得满分,满分分值视具体排序任务而定。仅有部分正确,答对两个字母的顺序记 1 分。三个得 2 分,依次类推。首尾字母排序正确得 1 分。
- d) 画路线任务:被试需要在白纸上画出寻路阶段走过的 10 条路线内容,包括路线的形状,转折点,地标等。计分方式:基于被试画出的最典型的路线进行计分。如果被试路线均不典型,选择其中一条作为代表即可,路线形状基本可辨认,与正确路线基本一致得 2 分;路线基本可以辨认,但存在部分错误得 1 分;正确命名起点和终点得 1 分;指示出行走方向得 1 分;路线数量每增加一条得 1 分;在以上内容基础上,被试画出路线附近有相应地标信息描述、描述等情况,无论位置对错,均可加 1 分。
- e) 路线整合任务:给被试呈现一张寻路任务环境的平面地图,地图上包含空间环境布局,地标信息和路线信息等,被试需要根据记忆,尽可能多地回忆并描出所走的十条路线。十条路线分别从字母 A 到 B,从 B 到 C 等按照英文字母顺序依次到字母 K。具体示意图见图 5。每正确描出一条路线计 1 分。

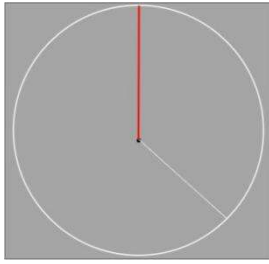


图 3. 角度差任务示意图



图 4. 路线序列任务示意图



图 5. 路线整合任务示意图

2.3 结果

描述性统计结果见表 2。本研究对空间知识结果进行降维，并验证其是否符合三类空间知识结构。测量样本累计解释方差总变异的75.39%， $KMO=.527$ ，球形检验度116.51， $p<.001$ ，可以进行因子分析。基于特征值大于1进行提取，共提取3个因子。分别命名地标知识，整体知识，路线知识（结果见表3），确定了空间知识测量的典型任务。研究2将采该测量任务探究导航因素对空间知识获取的影响。

表2. 空间知识测量数据描述统计及相关性

变量	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1 地标辨认	15.91	2.44	-					
2 地标转向	12.29	2.40	.73**	-				
3 路线序列	3.85	2.19	-.30**	-.13	-			
4 画路线	5.22	3.53	.08	.13	.25*	-		
5 路线整合	24.37	8.97	-.01	.02	.04	.26*	-	
6 角度差	29.87	14.63	.03	-.00	-.25*	-.41*	-.02	-

注：*代表 $p<.05$ ，**代表 $p<.01$ 。

表3. 空间知识测量任务旋转后因子矩阵表

	因子载荷		
	因子 1	因子 2	因子 3
1 地标辨认	.926		
2 地标转向	.902		
3 路线序列		.642	
4 画路线		.720	
5 角度差		-.810	
6 路线整合			.968

注：均保留各空间知识测量任务得分载荷最高项的数据。

3 研究 2 移动导航因素对空间知识和寻路绩效的影响

3.1 被试

使用 G*power3.1 进行被试量计算，设置效应量为.35，显著性水平为.05，统计效力为.95，计算得出所需被试 88 名。实际共随机招募被试 100 名，其中 4 名被试由于个人原因未完成实验，最终有效被试人数 96 人（年龄： $M=21.26$ 岁， $SD=1.39$ 岁），男性 48 名，女性 48 名，每组男、女各 12 人。

3.2 实验设计

研究 2 采用 2(地图模式：固定 vs.旋转) \times 2(比例尺：大比例尺 vs.小比例尺) \times 2(性别：男 vs.女)的被试间实验设计。因变量为空间知识测量任务得分与寻路绩效。

3.3 实验程序

实验程序与研究 1 相同。

3.4 结果

3.4.1 导航地图使用行为

导航使用时长的描述性统计结果显示，在寻路过程中，被试大约花费 1/5 的时间使用导航($M=.18, SD=.06$)。对导航使用时长在不同性别、导航模式、比例尺间进行独立样本 t 检验，

发现导航使用时长在这些变量中均存在显著差异（ $p < .006$ ），具体数据结果见表 4。

表 4. 研究 2 总导航时长占比 t 检验

变量		$M \pm SD$	t	df	p
性别	男	.16 ± .06	-3.36	94	.001
	女	.20 ± .06			
导航模式	固定模式	.20 ± .06	2.80	94	.006
	旋转模式	.16 ± .06			
比例尺	小比例尺	.16 ± .05	-2.88	94	.005
	大比例尺	.20 ± .06			

3.4.2 移动导航因素对空间知识学习的影响

以三类空间知识为因变量进行 2×2×2 方差分析，结果发现，只有在以路线知识为因变量时，自变量对因变量的影响显著，结果见图 4。具体而言，以路线序列为因变量，性别和导航模式交互作用显著， $F(1, 88) = 5.53$ ， $p = .02 < .05$ ， $\eta^2 = .059$ 。男性在固定模式下路线序列得分更高($M_{男} = 3.54$ ， $M_{女} = 2.88$)，女性在旋转模式下路线序列得分更高($M_{男} = 3.83$ ， $M_{女} = 4.17$)；进一步进行简单效应分析，固定模式下，男性在路线序列上的得分比女性显著更高($p = .007 < .01$)，旋转模式下则无显著差异。比例尺和导航模式的交互作用显著， $F(1, 88) = 7.53$ ， $p = .007 < .01$ ， $\eta^2 = .079$ ，大比例尺旋转模式下被试路线序列得分更高($M_{固定} = 3.21$ ， $M_{旋转} = 4.67$)，小比例尺固定模式下被试路线序列得分更高($M_{固定} = 4.21$ ， $M_{旋转} = 3.33$)；进一步进行简单效应分析，旋转模式下，被试使用大比例尺在路线序列上的得分要显著高于使用小比例尺($p = .029 < .05$)，固定模式下则无显著差异。

以画路线为因变量，性别和导航模式的交互作用显著， $F(1, 88) = 7.53$ ， $p = .007 < .01$ ， $\eta^2 = .079$ ，男性使用固定模式的导航地图在画路线任务上得分更高，女性使用旋转模式的导航地图在画路线上得分更高(固定模式下， $M_{男} = 6.54$ ， $M_{女} = 4.50$ ；旋转模式下， $M_{男} = 4.00$ ， $M_{女} = 5.83$)；进一步进行简单效应分析，固定模式下，男性比女性在画路线任务上得分更高($p = .04 < .05$)，旋转模式下则无显著差异。

以角度差为因变量，比例尺和导航模式的交互作用显著， $F(1, 88) = 5.43$ ， $p = .02 < .05$ ， η^2

=.058，大比例尺下被试使用旋转模式的地图，角度差更小($M_{\text{固定}}=32.07$ ， $M_{\text{旋转}}=27.41$)，小比例尺下被试使用固定模式的地图($M_{\text{固定}}=25.76$ ， $M_{\text{旋转}}=34.25$)，角度差更小；进一步进行简单效应分析，旋转模式下，使用大比例尺的被试角度差更小，呈边缘显著($p=.09$)。

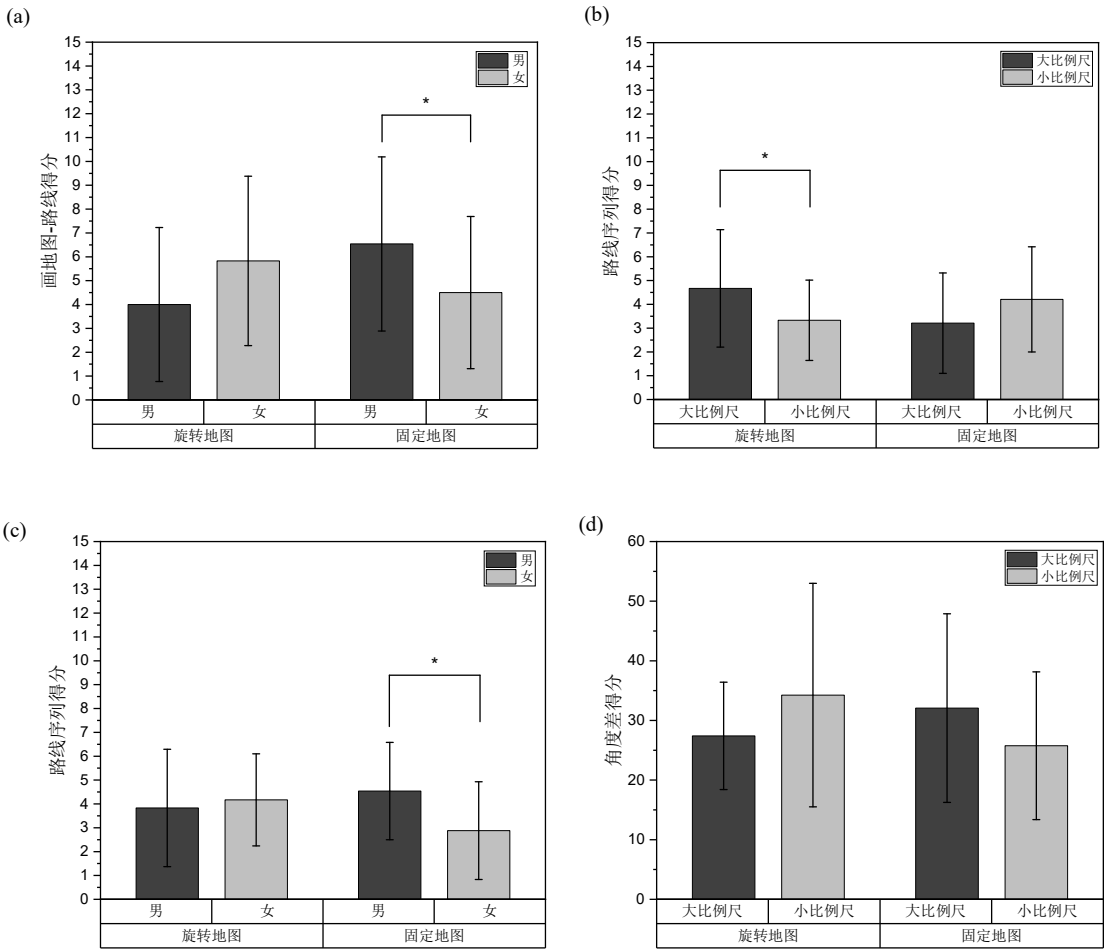


图4 (a)各被试类型在各呈现模式下画路线得分；(b)各比例尺大小在各呈现模式下路线序列得分；(c)各被试类型在各呈现模式下路线序列得分；(d) 各比例尺大小在各呈现模式下角度差得分。

注：* $p<.05$ ，** $p<.01$ ，*** $p<.001$ 。

3.4.3 移动导航因素对寻路绩效的影响

根据寻路绩效指标的相关性结果，研究 2 选择寻路距离、返程距离、寻路错误次数为因变量来探究移动导航因素对寻路绩效的影响，计算 10 条路线的数据平均值作为被试寻路绩效。

表5. 寻路绩效指标描述性统计及相关性

变量	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6
1 寻路时间	123.99	20.91	-					
2 寻路距离	430.13	22.49	.65**	-				
3 返程时间	71.15	18.1	.51**	.42**	-			
4 返程距离	316.68	76.77	.36**	.38**	.96**	-		
5 寻路停顿次数	4.01	2.11	.89**	.41**	.45**	.30**	-	
6 返程停顿次数	1.17	.65	.67**	.29**	.65**	.46**	.70**	-
7 寻路错误次数	1.53	.79	.47**	.54**	.26*	.23*	.30**	.25*

以寻路距离为因变量，导航模式主效应显著， $F(1, 88) = 4.75$ ， $p = .032$ ， $\eta^2 = .05$ ，旋转模式下被试寻路距离显著更短($M_{\text{旋转}} = 425.31$ ， $M_{\text{固定}} = 434.96$)。以寻路时间为因变量，性别主效应显著， $F(1, 88) = 13.89$ ， $p < .001$ ， $\eta^2 = .14$ ，男性被试寻路时间更短($M_{\text{男}} = 116.64$ ， $M_{\text{女}} = 131.34$)。以寻路错误次数为因变量，性别主效应显著， $F(1, 88) = 7.64$ ， $p = .007 < .01$ ， $\eta^2 = .08$ ，男性被试寻路错误更少($M_{\text{男}} = 1.3$ ， $M_{\text{女}} = 1.7$)。以返程距离为因变量，自变量的影响均不显著。

4 讨论

4.1 空间知识测量任务优化

研究 1 确定了虚拟环境中空间知识测量典型任务。以地标知识为例，地标转向任务考察了被试空间定向与视角转换能力，是完成导航任务的基础(张凤翔等, 2023)。地标辨认涉及个体的空间记忆能力(Zhong & Kozhevnikov, 2016)，一篇对空间知识的综述提到，地标记忆是地标知识最常见的衡量标准，一般要求被试回忆或识别地标的位置和身份(Yang & Merrill, 2022)。这也与研究 1 结果一致，通过地标转向任务衡量个体对地标位置的记忆且借助地标辨认任务测试个体对地标身份（是否见过）的熟悉程度。其他地标知识的测量还要求个体对地标进行命名，确保地标可以被准确编码(Farran et al., 2019)，但有研究发现：消防员提前学习地标命

名并未提高寻路绩效,反而增加了其认知负荷(Chen et al., 2023)。所以本研究并未采用类似的测量方式。此外,研究者们通常会对比不同位置(路口、非路口)(Janzen, 2006);类型(全局、局部)(Krukar et al., 2020);数量(Cheng et al., 2023)地标的学习情况,未来研究也可以针对不同类型的地标进行测量任务的调整。

测量路线知识最常见的措施是要求被试重新回忆学过的路线(Yang & Merrill, 2022)。如前所述,路线序列任务关注个体对历经路线顺序的掌握情况。类似的测量任务如地标序列任务,要求个体对路线中遇到的地标进行排列(Hilton et al., 2023)。本质上都是考察个体对包含地标序列和相关导航决策的掌握情况。其次,画地图任务在杨林腾(2020)研究中归类效果不佳,且存在一定局限性:当多条路线共存时,整体知识测量结果可能会出现系统偏差(Krukar et al., 2023)。因此研究 1 采用画路线任务,要求被试绘制连续的转弯,无需根据环境整体布局画出路线与地标信息(Yang & Merrill, 2022),更适用于路线知识的测量。此外,研究者发现个体在构建初级空间知识时会根据地标与路径信息学习近邻区域(Ericson & Warren, 2020),且方向信息比距离信息更重要(Chiang et al., 2023)。研究 2 结果也提示,角度差任务属于路线知识的测量,虽然有研究将其视为整体知识的测量任务(Coutrot et al., 2019; Dong et al., 2022; Hejtmánek et al., 2018),但本研究中 10 条路线的学习属于早期空间知识的构建,对方向信息的判断更倾向于建构路线知识。

在多次寻路后,个体将形成有关环境结构层次的整体知识。路线整合任务可以衡量个体形成空间布局与估算距离方向的能力,属于常见的整体知识评估方式:在地图中绘制或重新创建布局(von Stülpmagel & Steffens, 2012; Yang & Merrill, 2022)。然而,本研究提出的典型空间知识测量任务也存在着一定局限性,首先本研究的地标知识通过同一任务收集数据,结果相关性较高,未来可以尝试将两种任务分离。其次,典型空间知识测量任务能否推广到现实有待探索。Coutrot 等(2019)发现,现实世界中个体角度差任务的表现与虚拟游戏《Sea Hero Quest》中的表现并不相关。这可能因为现实世界的环境结构(如街道网格)和地标(如建筑)提供了更多的视觉内容(Witmer et al., 1996),且导航需要更长时间。未来可以在现实世界中检验典型空间知识测量任务的生态效度。此外,随着对空间知识理解的加深,研究者对草图的定量分析手段也逐渐提高,例如 GMDA 方法(Chiang et al., 2023; Gardony et al., 2015),将被试绘制草图与目标地图对比计算测量值,未来也可以通过类似方法增加分析的准确性。

4.2 移动导航因素对空间知识学习及寻路绩效的影响

在空间知识上,本研究探讨了导航因素对三类空间知识获取的影响。具体而言,对于地标知识,研究2未发现导航因素的显著影响。移动导航中地标知识的获取有赖于直接视觉信息的加工(Lapeyre et al., 2011),呈现模式并未影响地标的视觉呈现,小比例尺虽然可以提供更多环境信息,但同时提高了周围环境信息的易得性,无法凸显地标与周围环境的对比,对提取地标知识的促进作用有限。这也与杨林腾(2020)研究结果一致,即个体在接触环境初期即可获得地标知识,不需依赖导航软件(Ishikawa & Montello, 2006)。相比之下,路线知识作为地标知识向整体知识的过渡阶段,既可以在刚接触环境时获得,也可以随着经验积累发展,对于空间能力的要求适中,因此更容易受到导航因素影响。研究2发现,导航因素允许个体使用一致的参考框架表征空间位置信息时,路线知识的记忆情况更好。根据空间参考框架理论,学习陌生环境的空间结构与选取空间参照系的角度有关,个体对空间位置的编码和表征将选择性地受到环境配置影响(Iachini et al., 2023; Löwen et al., 2019; McNamara et al., 2003; Münzer et al., 2012)。大比例尺地图提供的环境信息较少,不利于个体以外部视角加工完整的空间结构,个体需根据环境特征采用自我中心编码。同样,旋转模式下导航视角随自身旋转,也属于自我中心的编码模式。这一发现也与Münzer等人(2020)的研究结果一致:当导航可视化信息支持自我中心表征时,个体形成自我-物体的空间知识更佳。在神经机制上,这两种参考框架由两个不同部分的大脑区域支持,额顶区主要支持以自我为中心的表征,枕颞区与非中心的表征有关(海马结构和舌回)(Laczó et al., 2022; Puthusserypady et al., 2022; Ruotolo et al., 2019)。由此可知,当不同导航因素提供的环境信息允许个体使用一致的参考框架时,更有利于提高个体路线知识的获取。未来的导航系统可以通过提供类似的视觉导航因素组合增强个体学习路线知识。

关于整体知识的学习,被试在路线整合任务上的表现均无显著差异。先前研究发现,强化全局特征有利于人对整体知识的获取,但本研究未得到类似的结论。这可能因为Löwen等人(2019)涉及到的全局特征倾向于呈现环境的结构区域,使路线指令适应路线和环境特征,简化路线指令的概念化和心理处理(Duckham & Kulik, 2003; Löwen et al., 2019; Richter, 2007; Richter & Duckham, 2008)。而本研究并未改变路线指令的复杂性,且本研究中被试历经10条路线,每条路线仅学习1次,练习次数较少。此外,个体差异如空间认知风格也可能影响整体知识的获取。整体知识需要个体有一定加工整体空间布局的能力,不同空间认知风格的个体依赖可用的信息模式选择不同的导航策略(Lugli et al., 2017)。本研究采取随机取样的方式

获取被试，并未对个体空间认知风格进行测量，未来研究可以结合空间认知风格进一步探究个体差异与导航因素对空间知识获取的影响。

在寻路绩效上，旋转模式地图减少寻路距离的效应在研究中稳定存在，这与本研究的假设一致。说明旋转模式地图有利于个体建立自我中心表征以促进寻路，通过减少个体心理旋转的认知负荷提升寻路绩效。以往研究发现，固定模式下个体寻路错误更少(Münzer et al., 2012)，本研究中导航模式对寻路错误无明显影响，这可能因为相比于 Münzer 等人使用的导航设备，现代导航尺寸更大提供了更多视觉信息，方便个体顺利完成寻路任务。大比例尺地图对寻路的促进作用并不明显，不符合预期。这可能因为相比于旋转视角，大比例地图对自我表征的形成会受到外部环境，如地图区域(Peer et al., 2021)、环境复杂性(Montello, 1993; Wolbers & Wiener, 2014)与内部因素，如个体空间能力(Zhao et al., 2020)的影响。本研究环境较为简单，且并未测量个体的空间能力，未来研究可以对此进行补充。

4.3 个体差异对空间知识学习及寻路绩效的影响

值得注意的是，个体对空间环境的编码过程不仅受到外部环境的影响，也将受到内部因素（如性别、年龄、视觉能力）作用(Nori & Giusberti, 2006; Ruggiero et al., 2022)。其中，空间导航的性别差异在行为表现上均得到大量研究验证，总体表现出男性在导航能力上的显著优势(张凤翔等, 2023; Nazareth et al., 2019)，且这一优势似乎在儿童时期就已经形成，在 6-12 岁的儿童中，男性在路线学习上的整体表现均优于女性(Merrill et al., 2016)。

本研究发现，性别与导航因素共同影响个体空间知识学习。不论是路线序列还是画路线任务，男性在固定模式下的表现均比女性更好。这可能因为男性常采用整体策略 (survey strategy)，在外部参考框架中形成空间布局的信息,是一种非中心的环境表征。固定模式的地图恰恰与男性的导航策略匹配，可以提供稳定的外部参考框架辅助视角转换(Lawton, 1994; Malinowski & Gillespie, 2001)，因此有利于男性路线知识的获取。女性偏向于依赖路线策略 (route strategy)，能够记住在何时何地做出特定的转弯(Boone et al., 2018; Lawton, 1994)，旋转模式地图可以减少女性转换个人视角带来的认知负荷以提高空间记忆。由结果可知，当导航因素与个体所需的空间参考框架保持一致时，个体更容易获取、记忆、表征环境空间配置信息。并且这一结果不局限于外部因素，在涉及性别等内部因素时也同样适用。生理学结果也支持这一点：男性常使用依赖后海马体的地图策略(map-based strategy)，女性则倾向于运用前海马依赖性场景策略(scene-based strategy)。地图策略与低相似性的海马体素有关，意味着个体对空间表征的编码更精细、复杂，因为信号的冗余较少，可以包含更复杂的信息，寻路表

现也更好(Bellana et al., 2017; Brown et al., 2023; Brunec et al., 2018, 2019), 有利于加工全局的复杂度量信息。因此, 未来的导航地图可以在呈现模式上对性别进行差异化设计, 对男性提供固定模式地图, 为女性呈现旋转模式地图, 提高不同性别个体获取空间知识的能力。此外, 研究 2 发现在寻路时间、寻路错误上均存在性别的主效应, 男性的寻路表现均好于女性。与之类似的是, 在现实环境下的大范围导航任务中, 男性更容易凭借地图找到目标地点, 这是因为他们在任务中有更多的方向性坚持, 较少的重走和停顿 (Munion et al., 2019)。可见, 男性在导航能力上的优势稳定, 这一点在虚拟导航任务与现实环境寻路中均得到验证。

5 结论

第一, 空间知识测量典型任务包括3类, 共6项任务: 地标知识(地标辨认、地标转向); 路线知识(画路线、路线序列、角度差); 整体知识(路线整合)。

第二、地标与整体知识的学习不受性别、导航因素的影响。路线知识的学习存在性别和导航模式的交互作用, 男性擅长使用固定模式地图, 女性擅长使用旋转模式地图。

第三、移动导航因素(导航模式、比例尺)提供的环境信息便于个体建立一致的自我表征时有利于路线知识的获取: 在大比例尺地图上, 旋转视角比固定视角更有利于学习路线知识, 符合自我中心表征。在小比例尺地图上, 固定视角比旋转视角更便于获取路线知识, 符合非中心表征。

第四、寻路绩效存在导航模式的主效应, 旋转模式下被试寻路绩效更高。

参考文献

- 成静, 张涛, 王涛, 董占伟. (2018). 一种基于图复杂度的移动导航服务回归测试优先方法. *计算机科学*, 45(6), 141–144, 155.
- 杨林腾. (2020). *移动导航使用对环境空间认知及寻路绩效的影响* (硕士学位论文). 华东师范大学, 上海.
- 张凤翔, 陈美璇, 蒲艺, 孔祥祯. (2023). 空间导航能力个体差异的多层次形成机制. *心理科学进展*, 31(9), 1642–1664.
- Bellana, B., Liu, Z.-X., Diamond, N. B., Grady, C. L., & Moscovitch, M. (2017). Similarities and differences in the default mode network across rest, retrieval, and future imagining. *Human Brain Mapping*, 38(3), 1155–1171.
- Bicanski, A., & Burgess, N. (2018). A neural-level model of spatial memory and imagery. *eLife*, 7, Article e33752.
- Boone, A. P., Gong, X. Y., & Hegarty, M. (2018). Sex differences in navigation strategy and efficiency. *Memory and Cognition*, 46(6), 909–922.
- Bottini, R., & Doeller, C. F. (2020). Knowledge across reference frames: Cognitive maps and image spaces. *Trends in Cognitive Sciences*, 24(8), 606–619.
- Brown, A., Burles, F., Iaria, G., Einstein, G., & Moscovitch, M. (2023). Sex and menstrual cycle influence human spatial navigation strategies and performance. *Scientific Reports*, 13(1), Article 14953.
- Brunec, I. K., Bellana, B., Ozubko, J. D., Man, V., Robin, J., Liu, Z.-X., ... Moscovitch, M. (2018). Multiple scales of representation along the hippocampal anteroposterior axis in humans. *Current Biology*, 28(13), 2129–2135.e6.
- Brunec, I. K., Robin, J., Patai, E. Z., Ozubko, J. D., Javadi, A. H., Barense, M. D., ... Moscovitch, M. (2019). Cognitive mapping style relates to posterior–anterior hippocampal volume ratio. *Hippocampus*, 29(8), 748–754.
- Burgess, N. (2006). Spatial memory: How egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12), 551–557.
- Burgess, N., Maguire, E. A., & O’Keefe, J. (2002). The human hippocampus and spatial and episodic memory. *Neuron*, 35(4), 625–641.

- Chen, H. Y., Sato, K., & Zheng, M. C. (2021). Differences in wayfinding performance across types of navigation aids and understanding of environmental information among travelers. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 20(4), 383–397.
- Chen, J. Y., Li, N., Shi, Y. M., & Du, J. (2023). Cross-cultural assessment of the effect of spatial information on firefighters' wayfinding performance: A virtual reality-based study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 84, Article 103486.
- Cheng, B. J., Lin, E. R., Wunderlich, A., Gramann, K., & Fabrikant, S. I. (2023). Using spontaneous eye blink-related brain activity to investigate cognitive load during mobile map-assisted navigation. *Frontiers in Neuroscience*, 17, Article 1024583.
- Chiang, N. C.-R., Huang, S.-C. L., Kuo, N.-F., & Shih, C.-C. (2023). Understanding cognitive maps from landmark and configurational representations. *Learning and Motivation*, 83, Article 101910.
- Coutrot, A., Schmidt, S., Coutrot, L., Pittman, J., Hong, L., Wiener, J. M., ... Spiers, H. J. (2019). Virtual navigation tested on a mobile app is predictive of real-world wayfinding navigation performance. *PLoS ONE*, 14(3), Article e0213272.
- Dahmani, L., & Bohbot, V. D. (2020). Habitual use of GPS negatively impacts spatial memory during self-guided navigation. *Scientific Reports*, 10(1), Article 6310.
- Dong, W. H., Qin, T., Yang, T. Y., Liao, H., Liu, B., Meng, L. Q., & Liu, Y. (2022). Wayfinding behavior and spatial knowledge acquisition: Are they the same in virtual reality and in real-world environments? *Annals of the American Association of Geographers*, 112(1), 226–246.
- Duckham, M., & Kulik, L. (2003). "Simplest" paths: Automated route selection for navigation. In W. Kuhn, M. F. Worboys, & S. Timpf (Eds.), *Spatial information theory. Foundations of geographic information science* (Vol. 2825, pp. 169–185). Springer.
- Ericson, J. D., & Warren, W. H. (2020). Probing the invariant structure of spatial knowledge: Support for the cognitive graph hypothesis. *Cognition*, 200, Article 104276.
- Farran, E. K., Bowler, A., Karmiloff-Smith, A., D'Souza, H., Mayall, L., & Hill, E. L. (2019). Cross-domain associations between motor ability, independent exploration, and large-scale spatial navigation; attention deficit hyperactivity disorder, Williams syndrome, and typical development. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, Article 225.
- Gardony, A. L., Brunyé, T. T., & Taylor, H. A. (2015). Navigational aids and spatial memory

- impairment: The role of divided attention. *Spatial Cognition and Computation*, 15(4), 246–284.
- Gramann, K., Hoepner, P., & Karrer-Gauss, K. (2017). Modified navigation instructions for spatial navigation assistance systems lead to incidental spatial learning. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 193.
- He, Q. L., McNamara, T. P., Bodenheimer, B., & Klippel, A. (2019). Acquisition and transfer of spatial knowledge during wayfinding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(8), 1364–1386.
- Head, D., & Isom, M. (2010). Age effects on wayfinding and route learning skills. *Behavioural Brain Research*, 209(1), 49–58.
- Hejtmánek, L., Oravcová, I., Motýl, J., Horáček, J., & Fajnerová, I. (2018). Spatial knowledge impairment after GPS guided navigation: Eye-tracking study in a virtual town. *International Journal of Human-Computer Studies*, 116, 15–24.
- Hilton, C., Kapaj, A., & Fabrikant, S. I. (2023). Landmark sequence learning from real-world route navigation and the impact of navigation aid Visualisation style. *Journal of Cognition*, 6(1), Article 41.
- Iachini, T., Ruotolo, F., Rapuano, M., Sbordone, F. L., & Ruggiero, G. (2023). The role of temporal order in egocentric and Allocentric spatial representations. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), Article 1132.
- Isaacson, M., & Shoval, N. (2006). Application of tracking technologies to the study of pedestrian spatial behavior. *The Professional Geographer*, 58(2), 172–183.
- Ishikawa, T., & Montello, D. R. (2006). Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places. *Cognitive Psychology*, 52(2), 93–129.
- Ishikawa, T., & Takahashi, K. (2014). Relationships between methods for presenting information on navigation tools and users' wayfinding behavior. *Cartographic Perspectives*, 75, 17–28.
- Janzen, G. (2006). Memory for object location and route direction in virtual large-scale space. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(3), 493–508.
- Krukar, J., Anacta, V. J., & Schwering, A. (2020). The effect of orientation instructions on the recall and reuse of route and survey elements in wayfinding descriptions. *Journal of Environmental Psychology*, 68, Article 101407.

- Krukar, J., Navas Medrano, S., & Schwering, A. (2023). Route effects in city-based survey knowledge estimates. *Cognitive Processing*, 24(2), 213–231.
- Laczó, M., Martinkovic, L., Lerch, O., Wiener, J. M., Kalinova, J., Matuskova, V., ... Laczó, J. (2022). Different profiles of spatial navigation deficits in Alzheimer's disease biomarker-positive versus biomarker-negative older adults with amnesic mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, Article 886778.
- Lapeyre, B., Hourlier, S., Servantie, X., N'Kaoua, B., & Sauzéon, H. (2011). Using the landmark–route–survey framework to evaluate spatial knowledge obtained from synthetic vision systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 53(6), 647–661.
- Lawton, C. A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, 30(11–12), 765–779.
- Löwen, H., Krukar, J., & Schwering, A. (2019). Spatial learning with orientation maps: The influence of different environmental features on spatial knowledge acquisition. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), Article 149.
- Lugli, L., Ragni, M., Piccardi, L., & Nori, R. (2017). Hypermedia navigation: Differences between spatial cognitive styles. *Computers in Human Behavior*, 66, 191–200.
- Malinowski, J. C., & Gillespie, W. T. (2001). Individual differences in performance on a large-scale, real-world wayfinding task. *Journal of Environmental Psychology*, 21(1), 73–82.
- McNamara, T. P., Rump, B., & Werner, S. (2003). Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin and Review*, 10(3), 589–595.
- Merrill, E. C., Yang, Y. Y., Roskos, B., & Steele, S. (2016). Sex differences in using spatial and verbal abilities influence route learning performance in a virtual environment: A comparison of 6- to 12-year old boys and girls. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 258.
- Montello, D. R. (1993). Scale and multiple psychologies of space. In A. U. Frank & I. Campari (Eds.), *Spatial information theory A theoretical basis for GIS* (Vol. 716, pp. 312–321). Springer Berlin Heidelberg.
- Morag, I., & Pintelon, L. (2021). Digital wayfinding systems in hospitals: A qualitative evaluation based on managerial perceptions and considerations before and after implementation. *Applied Ergonomics*, 90, Article 103260.
- Munion, A. K., Stefanucci, J. K., Rovira, E., Squire, P., & Hendricks, M. (2019). Gender differences

- in spatial navigation: Characterizing wayfinding behaviors. *Psychonomic Bulletin and Review*, 26(6), 1933–1940.
- Münzer, S., Lörch, L., & Frankenstein, J. (2020). Wayfinding and acquisition of spatial knowledge with navigation assistance. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 26(1), 73–88.
- Münzer, S., Zimmer, H. D., & Baus, J. (2012). Navigation assistance: A trade-off between wayfinding support and configural learning support. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(1), 18–37.
- Nazareth, A., Huang, X., Voyer, D., & Newcombe, N. (2019). A meta-analysis of sex differences in human navigation skills. *Psychonomic Bulletin and Review*, 26(5), 1503–1528.
- Nori, R., & Giusberti, F. (2006). Predicting cognitive styles from spatial abilities. *The American Journal of Psychology*, 119(1), 67–86.
- Ohtsu, K. (2017). Spatial learning by egocentric updating during wayfinding in a real middle-scale environment: Effects of differences in route planning and following. *Journal of Environmental Psychology*, 50, 51–59.
- Peer, M., Brunec, I. K., Newcombe, N. S., & Epstein, R. A. (2021). Structuring knowledge with cognitive maps and cognitive graphs. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(1), 37–54.
- Puthusseryppady, V., Morrissey, S., Spiers, H., Patel, M., & Hornberger, M. (2022). Predicting real world spatial disorientation in Alzheimer’s disease patients using virtual reality navigation tests. *Scientific Reports*, 12(1), Article 13397.
- Richter, K.-F. (2007). A uniform handling of different landmark types in route directions. In S. Winter, M. Duckham, L. Kulik, & B. Kuipers (Eds.), *Spatial information theory* (Vol. 4736, pp. 373–389). Springer Berlin Heidelberg.
- Richter, K.-F., & Duckham, M. (2008). Simplest instructions: Finding easy-to-describe routes for navigation. In T. J. Cova, H. J. Miller, K. Beard, A. U. Frank, & M. F. Goodchild (Eds.), *Geographic information science* (Vol. 5266, pp. 274–289). Springer Berlin Heidelberg.
- Ruggiero, G., Ruotolo, F., & Iachini, T. (2022). How ageing and blindness affect egocentric and allocentric spatial memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 75(9), 1628–1642.
- Ruginski, I. T., Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., & Cashdan, E. (2019). GPS use negatively affects environmental learning through spatial transformation abilities. *Journal of Environmental Psychology*, 64, 12–20.

- Ruotolo, F., Ruggiero, G., Raemaekers, M., Iachini, T., van Der Ham, I. J. M., Fracasso, A., & Postma, A. (2019). Neural correlates of egocentric and allocentric frames of reference combined with metric and non-metric spatial relations. *Neuroscience*, 409, 235–252.
- Schwering, A., Krukar, J., Li, R., Anacta, V. J., & Fuest, S. (2017). Wayfinding through orientation. *Spatial Cognition and Computation*, 17(4), 273–303.
- Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. In *Advances in child development and behavior* (Vol. 10, pp. 9–55). Elsevier.
- Slone, E., Burles, F., Robinson, K., Levy, R. M., & Iaria, G. (2015). Floor plan connectivity influences wayfinding performance in virtual environments. *Environment and Behavior*, 47(9), 1024–1053.
- von Stülpnagel, R., & Steffens, M. C. (2012). Can active navigation be as good as driving? A comparison of spatial memory in drivers and backseat drivers. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 18(2), 162–177.
- Willis, K. S., Hölscher, C., Wilbertz, G., & Li, C. (2009). A comparison of spatial knowledge acquisition with maps and mobile maps. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(2), 100–110.
- Witmer, B. G., Bailey, J. H., Knerr, B. W., & Parsons, K. C. (1996). Virtual spaces and real world places: Transfer of route knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(4), 413–428.
- Wolbers, T., & Wiener, J. M. (2014). Challenges for identifying the neural mechanisms that support spatial navigation: The impact of spatial scale. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, Article 571.
- Yang, Y. Y., & Merrill, E. C. (2022). Wayfinding in children: A descriptive literature review of research methods. *The Journal of Genetic Psychology*, 183(6), 580–608.
- Zhao, J. Y., Simpson, M., Wallgrün, J. O., Sajjadi, P., & Klippel, A. (2020). Exploring the effects of geographic scale on spatial learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 5(1), Article 14.
- Zhong, J. Y., & Kozhevnikov, M. (2016). Relating allocentric and egocentric survey-based representations to the self-reported use of a navigation strategy of egocentric spatial updating. *Journal of Environmental Psychology*, 46, 154–175.

The Effect of Mobile Navigation Factors on Wayfinding Performance and Spatial Knowledge Acquisition

*Jiang Yu, Han Xuechen, Li Huimin, Wu Jiaxin, Fang Huicong***

(The School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai, 200062)

Abstract Wayfinding is a crucial process for individuals to navigate and explore their environment in daily life. When compared to the traditional use of paper maps, modern navigation aids have been found to hinder individuals' environmental spatial knowledge. Previous researches have shown that navigation factors, such as navigation mode and scale, impact how individuals perceive and process spatial information. For instance, the user-aligned mode helps individuals build an egocentric representation of space, while the north-on-top mode promotes the formation of an allocentric representation. Additionally, small-scale maps assist in establishing spatial relationships between objects using an allocentric representation, while large-scale maps provide a perspective of nearby space, facilitating an egocentric representation. However, there is a trade-off between wayfinding performance and spatial knowledge acquisition. To address this trade-off, this study aims to investigate which combination of navigation factors best supports spatial knowledge acquisition. Previous researches have limitations; for instance, the scale was not controlled as an independent variable and lacked a measurement task that assesses all three types of spatial knowledge. To address these gaps, this study established a measurement task for each type of spatial knowledge and used two scales (1:50 and 1:200) as independent variables, continuing to incorporate the north-on-top and user-aligned modes commonly studied. The objective of this research was to investigate the impact of mobile navigation factors (navigation mode, scale) on individuals' wayfinding performance and spatial knowledge acquisition in a virtual 3D environment, considering the factor of gender.















In Experiment 1, 96 participants (48 males, 48 females) were recruited. Initially, the participants were required to complete a virtual spatial task consisting of two phases: wayfinding and return. After completing all ten routes, the participants were required to complete the spatial knowledge test, which consisted of five tasks such as landmark recognition and route sequence tasks. The scores from these tests were collected and analyzed, and three factors were extracted through factor analysis. Building upon the typical measurement task defined in Experiment 1, Experiment 2 employed a 2 (scale:

small-scale 1:200, large-scale 1:50) x 2 (navigation mode: user-aligned mode, north-on-top mode) x 2 (gender: male, female) between-subjects design. The dependent variables in this experiment were participants' scores on the spatial knowledge measurement task and wayfinding performance. The number of participants was 96 (calculated by G-power), and the experiment process was as same as Experiment 1. Experiment 2 revealed the following: when coming to route knowledge acquisition, there were significant interactions between gender and navigation mode. Specifically, males performed significantly better in the north-on-top mode compared to the user-aligned mode, while the opposite was true for females. On large-scale maps, the user-aligned mode was more conducive to route knowledge acquisition than the north-on-top mode, aligning with an egocentric representation. Conversely, on small-scale maps, the north-on-top mode was more convenient than the user-aligned mode, aligning with an allocentric representation. A main effect of navigation modes on wayfinding performance was observed, with subjects' wayfinding performance being better in the user-aligned mode than in the north-on-top mode. The results of both experiments indicated an interaction between navigation mode and scale: combinations of navigation factors that suit the individual can help individuals establish a consistent spatial frame of reference, enhancing route knowledge acquisition.

The innovations of this article are as follows: Firstly, this study has refined the spatial knowledge measurement task and established a comprehensive measurement task for three types of spatial knowledge, thus providing new ideas for reducing measurement errors and conducting measurements systematically and efficiently. Secondly, this study, based on the spatial reference framework theory, found that the influence of mobile navigation factors on spatial knowledge learning and wayfinding performance is conditional. When navigation factors facilitate individuals to process environmental information with a consistent reference framework, it promotes the acquisition of route knowledge.

Key words Wayfinding Performance, Spatial Cognition, Mobile Navigation, Spatial Knowledge

附录

附录 A 路线序列测试任务	
AB段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:	
<div><div><p>a</p></div><div><p>b</p></div><div><p>c</p></div><div><p>d</p></div><div><p>e</p></div></div>	
BC段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:	
<div><div><p>a</p></div><div><p>b</p></div><div><p>c</p></div><div><p>d</p></div></div>	
CD段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:	
<div><div><p>a</p></div><div><p>b</p></div><div><p>c</p></div><div><p>d</p></div><div><p>e</p></div></div>	
DE段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:	
<div><div><p>a</p></div><div><p>b</p></div><div><p>c</p></div><div><p>d</p></div><div><p>e</p></div><div><p>f</p></div></div>	

EF段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d

FG段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d



e

GH段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d

HI段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d



e

IJ段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d

JK段-请按照您认为见到下列图片的正确顺序为其排序:



a



b



c



d

附录 B 地标测试材料

