

# 基于虚拟现实技术的儿童空间认知能力试验研究

龚 燕, 刘新宇, 舒玲玲, 赵梦歌, 徐 速

温州大学, 浙江 温州

Email: 1516507927@qq.com

收稿日期: 2020年10月21日; 录用日期: 2020年11月13日; 发布日期: 2020年11月26日

---

## 摘 要

空间认知能力作为教育教学中学生智力发展的基本要求, 近几年来已经成为儿童认知发展研究的重点, 其包括空间知觉、空间表征、空间想象和空间思维四种能力。结合皮亚杰的认知发展模型, 本文旨在原有的空间认知能力结构模型理论的基础上, 构建设计儿童空间认知能力虚拟试验的框架结构, 撰写试验脚本, 论述实施步骤及各步骤主要思路, 拟开发一套集沉浸式与交互式为一体的虚拟情境试验, 为培养并提高学生的空间感知能力以及空间想象和思维能力等提供新思路。

## 关键词

空间认知能力, 虚拟现实技术, VR, 儿童

---

# Experimental Study on Spatial Cognition of Children Based on Virtual Reality Technology

Yan Gong, Xinyu Liu, Lingling Shu, Mengge Zhao, Su Xu

Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang

Email: 1516507927@qq.com

Received: Oct. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: Nov. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 26<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Spatial cognitive ability, as the basic requirement of students' intellectual development in educa-

tion and teaching, has become the focus of children's cognitive development research in recent years. It includes four abilities: spatial perception, spatial representation, spatial imagination and spatial thinking. Combined with Jean Piaget's cognitive development model, this paper aims to design tests of children's spatial cognitive ability based on virtual reality. On the basis of the original spatial cognitive model, we constructed a framework of the virtual experiment, and wrote the test script. The implementation steps and main ideas of each step were also discussed. It is intended to develop a set of immersive and interactive virtual experiments, which will provide new ideas for training and improving students' spatial perception ability, spatial imagination and thinking ability.

## Keywords

Spatial Cognitive Ability, Virtual Reality Technology, VR, Children

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

李洪玉, 林崇德(2005)认为空间认知能力是人们对客体或空间图形(任意维度)在头脑中进行识别、编码、贮存、表征、分解与组合和抽象与概括的能力, 包括空间知觉、空间表征、空间想象和空间思维四种能力。空间认知能力是影响学科学业成就的重要因素(Holzinger & Swineford, 1946; Priby et al., 1987), 尤其是在学生关于几何学习中具有重要的影响, 为培养学生的空间认知能力提供具体科学的内容和方法上的理论依据, 是在教师教育教学中引发学生智力发展的基本要求。对于空间认知能力的研究开始于本世纪初(1904年)。皮亚杰从1929年开始研究空间概念的形成和发展。他认为, 儿童空间观念的演化是在两个不同的水平上进行的: 知觉水平和思维或想象水平, 并且提出认知发展阶段理论的四个阶段(感知运动阶段、前运算阶段、具体运算阶段、形式运算阶段)和空间认知能力的四种形式(空间知觉、空间表征、空间想象和空间思维)是相互对应的, 而空间认知能力作为认知能力的特殊存在, 理论上也遵循一般认知能力的发展规律。对于众多空间认知能力的研究中有一些大量采用各种视空间知觉的测验, 以此来鉴定其空间能力, 这种以抽象的几何符号编制成的测验, 有助于揭示和评价目测观察, 灵敏性等能力。从我国众多关于认知心理学的研究中发现对于空间认知能力的研究较少, 而其中在教学研究中也发现学生的空间认知能力较差。

## 2. 空间认知能力测验研究现状

针对空间认知能力基础理论和研究, 对于空间认知能力的测验主要有瑞文推理测验、维也纳心理测验系统、卡片旋转测试量表(Card rotation test)、心理旋转测试量表(Mental rotation test)、明尼苏达修正测试量表(Minnesota paper from board test) (Goeters & Rathje, 1992; Stahlberg, 1992)和林崇德等编制的《空间认知能力倾向成套测验》(共70个项目)。

早期的空间能力测验以心理旋转测验为主, 但这是不全面的, 测验的材料和测验任务设置也有很大的局限性。测验典型的是标准心理旋转测验(MRT)及其多变式, 其主要研究的是空间认知能力的个体差异。Vanderberg 和 Kuse 设计出的标准 MRT 是通过小立方体构成的三维图形以其中一个为标准图形, 在做出标准图旋转后的两幅图(可重合)和标准图镜像旋转后的图(不可重合), 让被试做选择, 该测验主要看

眼的是个体对于三维物体旋转变化后的辨认能力(Vandenberg & Kuse, 1978), MRT A/D 是后来实验者在根据个体在对物体的水平旋转和垂直旋转中对于前者更易辨认的假设进行改编, 主要探究的是心理旋转在水平方向和垂直方向上是否有差异。MRT0-4 是由 Glück 和 Fabrizii (2010)编制应用的, 发现了控制被试策略选择后, 其心理旋转的个体差异性减少。成对 MRT 的编制是为了排除任务复杂度对实验过程中个体的影响, Titze (Titze, Heil, & Jansen, 2010)提出该测验, 研究发现在一样的任务复杂难度情况下, 个体之间的心理旋转能力仍然存在差异, 并且表现为男性优于女性。

空间认知能力的三维测验目前主要有四种(鞠成婷, 游旭群, 2013): D\*Star, SODT-R, VWM 虚拟水迷宫测验, VPT 虚拟罗盘定位任务。D\*Star 是由维也纳科技大学于年开发的动态空间测验, 是一项基于增强现实技术的新型空间测验, 它的测验任务是要求被试按照茶杯的旋转方向旋转所呈现的图形。SODT-R 是一项动态评估被试空间定位能力的测验, 其全称是空间定向动态评估测试。他的测验任务是控制两点到达目标点, 测验数据是两点到目标点的距离大小。VWM 虚拟水迷宫测验是在动物水迷宫实验的基础上开发出的一种测量人们空间定位能力的测验, 它的测验任务是寻找藏宝箱, 测验数据是被试的定位时间。VPT 虚拟罗盘定位任务是一种空间定位能力的测验。该测验要求被试在一个无任何方向提示的场景中前进, 每走一步使用一个虚拟方向盘指示其出发位置。完成此任务, 被试需要依赖其所走距离、速度和移动角度等信息地累积与更新来使自己找到最初起点。

三维的空间认知能力测试明显优于二维空间认知能力测试。刘芳等人(2009)认为虚拟地理环境的多感觉通道拓展了人的空间认知手段, 改变了人们的空间思维习惯, 使得人的空间思维方式由原来的形象思维为主转变为抽象思维与形象思维并重, 极大地提高了人的空间认知能力。柳佳佳等人(2014)认为相较于二维认知空间能力测试, 三维空间认知能力测试的认知效率更高、认知维度和深度更广。在空间认知模式方面, 三维测试中的目标、形状等空间对象认知效果优于二维测试。多位研究者也利用实验证明了三维空间试验的优越性。申申等人(2018)做了基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究, 结果表明, VR 组的空间认知 3 个层次(空间特征感知、空间对象认知、空间格局认知) 的认知效果好于二维组。张俊等人(2019)通过对比试验证明了虚拟现实技术可以有效提升用户对场景的空间认知程度, 验证了虚拟现实场景在空间认知效果上的显著优势。虚拟现实技术以下几点优点可有效的促进儿童的空间认知能力的提升: 第一, “沉浸式”的时空。儿童身心发展还不成熟, 一般儿童连续稳定的注意时间为二十分钟左右, 他们需要不断有外界的刺激, 才能保持比较长时间的注意力(李逸桦, 2019)。虚拟现实系统能够营造出逼真的情境, 儿童可“零距离”“多角度”的身临其境, 并可保证学生的有效注意力时间, 在试验中有效锻炼儿童空间认知能力(雷波, 2020)。第二, “交互式”的过程。VR 不但可以再现真实场景, 还具有很强的交互性, 能够实现电脑和被试者 1:1 交互, VR 中的场景可以达到类似网络游戏趣味性与挑战性并存的境界(张志祯, 2016), 儿童以强烈的主体精神和积极主动的态度进入试验, 有效发展建构自己的知识结构(李蕾, 王健, 曹俊, 2011)。我们可以通过一系列的针对性训练提高增加儿童空间认知的经验, 从而培养提高儿童的空间认知能力, 第三, 实践操作的安全性、有效性。虚拟现实技术可以模拟生活中难以接触到或者具有一定危险性的场景, 不仅节约了搭建真实情景的成本, 可以使儿童在低风险的情景中完成一系列的试验, 不受时空和材料的限制。使得儿童能够在试验中更安全、更有效的进行, 并获得更深刻、透彻的理解, 从而提升儿童的认知能力。

虚拟技术能使人们在虚拟的空间环境中完成操纵和定位任务。有研究表明(Neidhardt, 2010), 人们的空间能力在真实环境下和空间能力测验下表现不同。使用虚拟仿真技术能更好得模拟现实环境, 增加情景意识, 从而能提高空间信息加工能力。

因此本研究旨在借助虚拟现实(virtual reality, VR)技术, 对空间认知能力新的试验手段开展初步实践研究, 力求对上述问题进行改善和解决。

### 3. 儿童空间认知能力三维虚拟试验构想设计

随着社会环境的变化,现代科技的迅速发展,智能手机的出现,越来越多的人逐渐淡化了认路和辨别方向的意识。空间认知能力是从小养成的习惯和技能,我们可以通过一系列的空间认知训练增加儿童空间认知的经验,在游戏中通过天气和周围的建筑物辨别方向,从而培养提高儿童的空间认知能力。游戏是孩子的天性,VR 游戏不仅可以激发孩子的兴趣,还可以提高儿童的空间想象力,建立空间思维,达到手、眼与脑的协调工作。

基于虚拟现实的儿童空间认知试验主要包括试验设备及试验内容研发。试验设备主要由实验室配备的相同配置的计算机,VR 设备(动作捕捉器 Kinetic2: 深度感应镜头  $320 \times 240$ , 16 bit, 30 fps; 颜色感应镜头  $640 \times 480$ , 32 bit, 30 fps; 机身转动范围 $\pm 27$ 度; 传感深度范围 1.2~3.5 米)以及手持输入设备 Xbox360 (“十”字按键和方向摇感,支持有线,USB 和无线连接),头部定位仪 HTC-VIVE 头盔组成。

试验内容主要包括空间认知能力各要素的虚拟情境试验脚本设计及开发实践。

#### 3.1. 儿童空间认知能力结构模型

##### 3.1.1. 空间知觉能力

即人们对空间内物体的大小,形状,远近,方位的感知能力,环境中物体有不同的高度和角度变化,儿童需要通过观察物体培养必要的垂直感和方向感,并且垂直感会随着年龄的增加而逐渐衰弱(Razzak et al., 2018)。

##### 3.1.2. 空间表征能力

空间表征能力是一个空间语言化的过程。即人们对空间内物体的位置,形状等进行编码,在脑中呈现或用语言正确表达出来。对空间的回忆任务(Muffato, Meneghetti, & De Beni, 2019)可以捕捉心理表征,例如从记忆中绘制地图。对儿童来说,需要学习如何将新环境中建立的内部心理表征用正确的语言表达出来。

##### 3.1.3. 空间想象和思维能力

空间想象和思维能力不止是简单的心理表征,是指人们在实践活动或大脑思维运转中创造出的一种新的物体的位置,形状,大小等。这需要儿童锻炼空间可视化的能力,有助于对建筑设计等学科的学习。

#### 3.2. 虚拟情境试验脚本撰写与开发实践

在充分论证空间认知能力结构模型的基础上,对空间认知能力因素构建相应虚拟情境试验。对不同阶段的空间认知能力的发展规律,与皮亚杰认知发展理论相对应的空间知觉能力,空间表征能力,空间想象能力,空间思维能力等,本研究立足于在儿童群体中受欢迎的游戏情境,设置空间认知任务,编写情境试验脚本,包括游戏试验环境构建、试验任务的设置、刺激变量的设计、任务难度的设定、评价标准设计(如时间、准确率)等。试验构想设计如表 1。

测验场景参考前人的研究,在 The Elder Scrolls V: Skyrim 的上百个场景中,排除了会有怪兽出现的不稳定的野外场景,以及视野干扰,道路狭窄等缺陷,最终选取了三个城镇作为测验场景,包括独孤城(如图 1),木溪镇(如图 2),雪漫城(如图 3)。

#### 3.3. 实验场景制作

##### 3.3.1. 模型制作

先在 3ds max 软件中绘制出实验场景中需要加入的模型,分别为路灯(见图 4),气球(见图 5),人像雕塑(见图 6),信箱(见图 7),旋转的星星(见图 8)然后在 3ds max 软件的相应位置安装 niftool 插件,将模型导出为 nif 格式的文件,并以中文拼音命名。

**Table 1.** Conceptual design of the experiment  
**表 1.** 试验构想设计

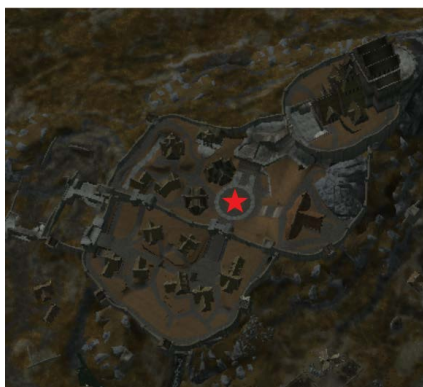
测验名称	测试内容		
	场景设计	实验内容	测验数据
空间知觉	进入虚拟城市场景雪漫城 (Whiterun), 道路开阔, 视野不会交叉干扰。	感知记忆场景中的目标物体 (气球, 路灯)。	被试回想建筑物位置的反应时间和准确率。
空间表征	进入虚拟室外场景溪木镇 (Riverwood), 天气为晴天, 参照物有河流, 树木, 房屋等。	找到指定的 A (信箱) B (人像雕塑) C (星星) 三个目标, 并且分别描述物体在整条路线的什么位置。	被试完成的时间和正确率。
空间想象与思维	进入城市独孤城 (Solitude) 街道场景, 以路灯, 房屋等为参照物。	熟悉地图场景, 被试站定观察周围环境, 根据“星星”物体指示走第一遍路线, 第二遍在无箭头指示的情况下到达终点。	被试观察的时间以及记忆地图的正确率。



**Figure 1.** Solitude  
**图 1.** 独孤城



**Figure 2.** Riverwood  
**图 2.** 木溪镇



**Figure 3.** Whiterun  
**图 3.** 雪漫城

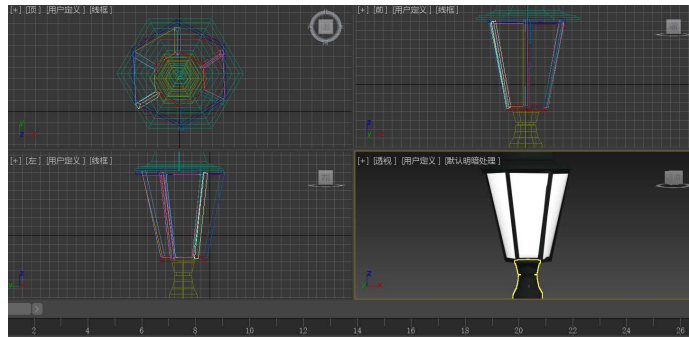


Figure 4. Street lamp  
图 4. 路灯

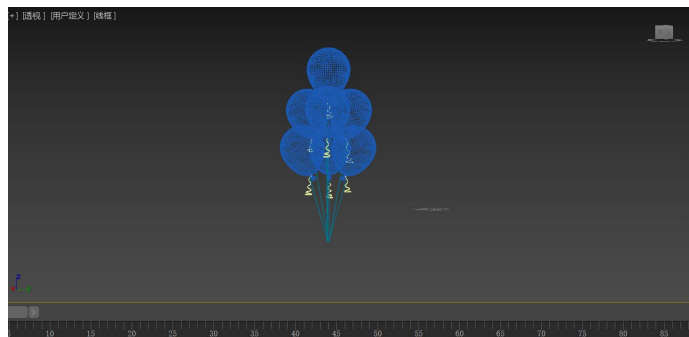


Figure 5. Balloons  
图 5. 气球

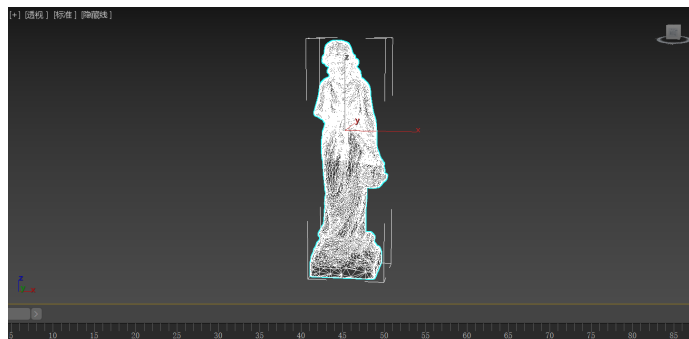


Figure 6. Portrait sculpture  
图 6. 人像雕塑

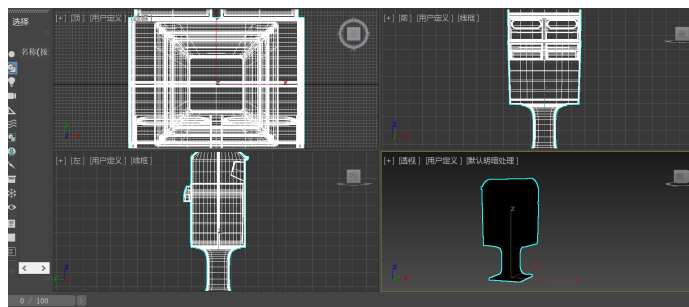


Figure 7. Letter box  
图 7. 信箱

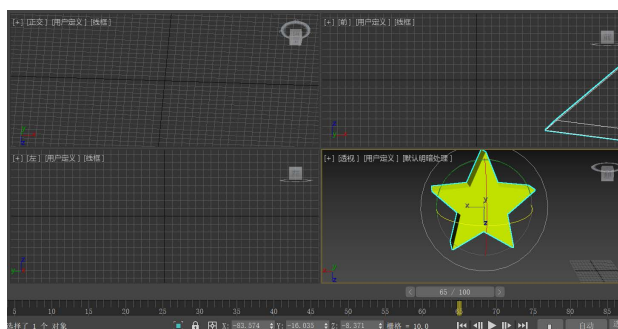


Figure 8. Spinning Star

图 8. 旋转的星星

### 3.3.2. 试验任务设置

首先在选好的场景中进行行走观察，选择适合放置目标物体的位置，通过控制台获得相应的坐标。在 creation kit 里找到相应的位置，将先前导入的模型，拖入 Object window 中，并安装上触发器。

本研究在 Skyrim 的场景 Whiterun World 中选取了场景 1：雪漫城；在 Tamriel 中选取了场景 2：木溪镇在 Solitude world 中选取了场景 3：独孤城。三个场景完成制作的俯视图如图 9~11 所示。

### 3.4. 试验可靠性理论分析

区别于传统的纸笔测试和计算机二维屏幕展示测试，基于虚拟现实空间环境的空间认知能力试验方法的优势、局限及实际效用需详细探讨，主要分析内容如下：① 虚拟情境试验的信度、效度分析，包括内容效度、实证效度(同时效度、预测效度)。② 与传统纸笔测试等成熟量表作相关分析，分析预测因子效度差异，探析原因及干扰因素。③ 分析虚拟情境试验的优势及适用范围。



Figure 9. Solitude

图 9. 独孤城

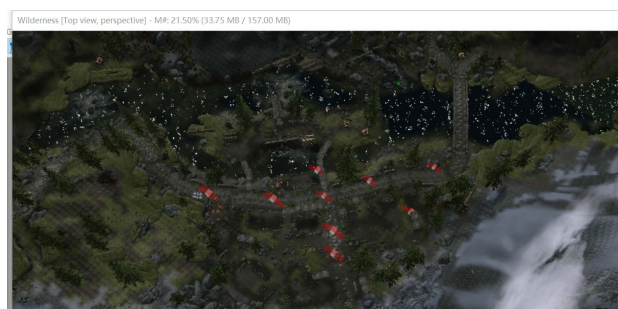


Figure 10. Riverwood

图 10. 木溪镇



Figure 11. Whiterun  
图 11. 雪漫城

#### 4. 讨论与展望

空间认知能力发现作为一种特殊的智能，主要是根据视觉空间表象进行的，其中最典型的心理旋转，有众多学者以学龄前儿童为被试研究其心理旋转开始的年龄以及性别差异。林仲贤、张增慧和韩布新(2002)认为 7~8 岁儿童已经具备心理旋转能力并且伴随年龄的增长继续向前发展。侯岩和叶平枝(1992)发现在空间认知建构中，形状认知能力在学龄前已经有较好的发展了，立体认知和距离能力开始发展。总之，学龄前儿童的空间认知能力发展是一个统一协调的过程，各项的认知成分都是遵循各自的规律进行不同步发展，他们相互依赖、相互促进。李洪玉和林崇德(2005)采用探索性因素研究发现在中学生空间认知能力的结构中，空间想象能力主因素起着重要作用，在初中生与高中生结构空间认知能力布局成分中，大部分因素是相同成分。相比传统的二维模式教与学，通过 VR 设备展示出三维的物体形态更加真实与全面，能够弥补二维模式图片单一的缺陷，使儿童不但能够观察物体的形态还能够借此判断物体之间的关系，借此以达到提高儿童空间认识与判断能力的目的。与此同时，不可否认的是 VR 试验的方法也还有诸多问题亟待解决，仍需进一步讨论与验证。许多学者对空间认知能力的性别差异仍然存在很大的争议，针对认知方式与空间认知能力的研究中，Globerson 等人(1985)研究发现认知方式与认知能力有显著的正相关。王有智和欧阳仑(2004)研究发现认知方式会影响图形的推理水平。曹晓华、曹立人和马恭湘(2005)利用眼动仪进行实验研究发现认知方式对不规则几何图形识别绩效的影响差异显著。如何建立更适合人们认知方式的实验场景以及关注性别差异研究，需要学者共同努力，解决存在的问题，本文认为基于虚拟情境的儿童空间认知试验这一研究领域有很多思想与奥秘值得我们去验证和发现。

#### 致 谢

本论文是在温州大学徐速教授的悉心指导下完成的，同时得到了陈宥辛老师的热情支持帮助，范璐老师与我们亦师亦友，为我们打开了很多思路。另外一些学长学姐们也给了我宝贵的意见和建议，为我们解答疑惑，在此一并表示我们最衷心的感谢。

在论文完成的一年时间里，感谢我的队友们，也就是这篇论文的第二，第三，第四作者，与我一起研究文献，探讨研究方法，设计虚拟场景。也感谢我的朋友给我有力的支持，在低谷期激励我继续完成论文。在此，向所有给予我支持和帮助的同学和老师们再次表示诚挚的感谢。

#### 参考文献

- 曹晓华, 曹立人, 马恭湘(2005). 认知方式对不规则几何图形识别绩效影响的眼动研究. *人类工效学*, 11(3), 9-12.  
侯岩, 叶平枝(1992). 学前儿童空间认识能力发展的实验研究. *心理发展与教育*, (2), 1-7.  
鞠成婷, 游旭群(2013). 空间能力测验及其研究应用. *心理科学*, 36(2), 463-468.



- 雷波(2020). 论 VR 式慕课在广播电视编导专业教育中的优势特点. *卫星电视与宽带多媒体*, (2), 213-214.
- 李洪玉, 林崇德(2005). 中学生空间认知能力结构的研究. *心理科学*, 28(2), 269-271.
- 李蕾, 王健, 曹俊(2011). 3D 影像资源在教育中的应用探析. *中国电化教育*, (2), 77-80.
- 李逸桦(2019). 小学教育中应用 VR 技术的优势与问题. *学周刊*, (19), 155.
- 林仲贤, 张增慧, 韩布新(2002). 儿童、中青年及老年人心理旋转能力的比较研究. *心理科学*, (3), 257-259+380.
- 刘芳, 王光霞, 钱海忠, 侯璇, 李科(2009). 虚拟地理环境对空间认知方式的影响. *测绘科学*, 34(4), 67-69+33.
- 柳佳佳, 葛文, 薛宁(2014). 二维和三维电子地图的空间认知差异研究. *海洋测绘*, 34(2), 76.
- 申申, 龚建华, 李文航, 梁剑鸣(2018). 基于虚拟亲历行为的空间场所认知对比实验研究. *武汉大学学报(信息科学版)*, 43(11), 1732-1738.
- 王有智, 欧阳仑(2004). 大学生不同认知方式对图形推理水平的影响——兼谈认知过程中的人格作用. *心理科学*, (2), 389-391+406.
- 张俊, 李骁, 陈凯, 叶进勇, 黄斯曼(2019). 利用虚拟现实技术提升规划方案的空间认知效果. *测绘通报*, (9), 108-111.
- 张志祯(2016). 虚拟现实教育应用: 追求身心一体的教育——从北京师范大学“智慧学习与 VR 教育应用学术周”说起. *中国远程教育*, (6), 5-15+79.
- Globerson, T., Weinstein, E., & Sharabany, R. (1985). Teasing Out Cognitive Development from Cognitive Style: A Training Study. *Developmental Psychology*, 21, 682-691. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.21.4.682>
- Glück, J., & Fabrizii, C. (2010). Gender Differences in the Mental Rotations Test Are Partly Explained by Response Format. *Journal of Individual Differences*, 31, 106-109. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000019>
- Goeters, K. M., & Rathje, H. (1992). *Computer Generated Parallel Tests for Aptitude Measurement in the Selection of Aviation Operators*. Tech Report, ETN-93-93960.
- Holzinger, K. J., & Swineford, F. (1946). The Relation of Two Bi-Factors to Achievement in Geometry and Other Subjects. *Journal of Educational Psychology*, 37, 257-265. <https://doi.org/10.1037/h0053536>
- Muffato, V., Meneghetti, C., & De Beni, R. (2019). Spatial Mental Representations: The Influence of Age on Route Learning from Maps and Navigation. *Psychological Research*, 83, 1836-1850. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1033-4>
- Neidhardt, M. P. (2010). Spatial Tests, Familiarity with the Surroundings, and Spatial Activity Experience How Do They Contribute to Children's Spatial Orientation in Macro Environments? *Journal of Individual Differences*, 31, 59-63. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000010>
- Priby, T. J. R. et al. (1987). Spatial Ability and Its Role in Organic Chemistry: A Study of Four Organic Courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 229-240. <https://doi.org/10.1002/tea.3660240304>
- Razzak, R. A., Alshaiji, A. F., Qareeballa, A. A., Mohamed, M. W., Bagust, J., & Docherty, S. (2018). High-Normal Blood Glucose Levels May Be Associated with Decreased Spatial Perception in Young Healthy Adults. *PLoS ONE*, 13, e0199051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199051>
- Stahlberg, G. (1992). *The Cube Rotation Test: A Computer Generated Process for Acquisition of Mental Spatial Manipulator Capability*. Tech Report, N93-31 229.
- Titze, C., Heil, M., & Jansen, P. (2010). Pairwise Presentation of Cube Figures Does Not Reduce Gender Differences in Mental Rotation Performance. *Journal of Individual Differences*, 31, 101-105. <https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000018>
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental Rotation, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualisation. *Perceptual and Motor Skills*, 47, 599-604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>