

# 空间认知中的认知差异模型

张亚南, 刘仙芸\*

天津师范大学心理学部, 天津

收稿日期: 2022年11月20日; 录用日期: 2022年12月12日; 发布日期: 2022年12月23日

## 摘要

空间认知的重点在于将个体认知与周围环境建立起紧密的联系, 由此产生的空间能力对人类的生存和繁衍具有重要意义。查阅已有文献, 虽有对空间认知差异的众多实证研究, 但对产生差异的原因论述仍不清楚。针对究竟是什么导致了空间认知差异这一问题, 我们通过整理已有文献综述, 首先着眼于性别和年龄的生理原因, 其次讨论个体认知策略差异可能产生的影响, 在此基础上拟总结出包含生理差异和空间策略选择差异的链式因素假想模型。

## 关键词

空间认知, 性别差异, 年龄差异, 认知策略

# Cognitive Difference Model in Spatial Cognition

Yanan Zhang, Xianyun Liu\*

Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin

Received: Nov. 20<sup>th</sup>, 2022; accepted: Dec. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Dec. 23<sup>rd</sup>, 2022

## Abstract

The focus of spatial cognition was to establish a close connection between individual cognition and the surrounding environment, and the resulting spatial ability is of great significance to the survival and reproduction of human beings. Looking at the existing literatures, though there are many empirical studies on the differences in spatial cognition, the reasons for the differences are still unclear. In response to the question of what caused the differences in spatial cognition, we reviewed the literatures, firstly focusing on the physiological reasons of gender and age, and se-

\*通讯作者。

condly discussing the possible impact of differences in individual cognitive strategies. As a result, a hypothetical model of chain factors was developed that included both physiological differences and differences in spatial strategy selection.

## Keywords

Spatial Cognition, Gender Difference, Age Difference, Strategy Use

Copyright © 2022 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

从进化论的角度来看, 估计自己的位置并在物理空间追溯和规划自己路线的能力是生存的关键 (“Focus on Spatial Cognition”, 2017), 这就是我们要提到的空间认知。空间的概念由来已久, 最早可以追溯到 19 世纪前后(Hahn, 1908)。20 世纪 70 年代以来, 人们对空间认知的兴趣大大增加, 融合了对动物和人类心理功能(从感知到记忆和高级认知现象)的多个层面的研究(Tommasi & Laeng, 2012)。空间能力是空间认知下生物体在环境中的能力表现, 是发现、搜索、保持和处理视觉空间信息的一种能力, 主要包括准确知觉世界、对知觉到的事物进行改造或修改以及重建视觉经验(周详, 曾晖, 1995)。为了在进化上取得成功, 生物必须能够进行认识环境、辨别方向、寻找食物和族群、完成空间巡航并能够返回住所等, 这一切都是生物空间认知能力的体现, 并且这种能力是伴随着生物从出生到死亡一直发生动态变化的。回到我们的生活中, 当你进入陌生环境中时, 你是否能记住自己走过的道路, 路过的风景? 同样是一个新环境, 个体对环境的认知程度和速度和身边人是否会有差异? 这些依赖于对周围环境进行认知加工, 在头脑中形成认知地图(Tolman, 1948), 最终完成环境内空间认知的整合, 再通过指路等形式表现出来的能力都是我们说的空间认知能力。因此, 空间认知和空间能力可以体现到我们生活的方方面面, 同其他心理现象一致, 这类能力的产生和发展也同样需要依赖于一些特有的神经机制, 比如海马体、内嗅皮层的网格细胞、躯体感觉区运动皮层等(Iaria et al., 2007; Wolbers et al., 2007; Doeller et al., 2010; Hafting et al., 2005; 梁建民等, 2006)。在了解了空间认知能力产生的生物基础和与之相关的基础概念之外, 也有研究者研究了不同年龄阶段诸如幼儿、初高中学生、高校学生空间能力的差异。早在很早之前就有研究已经表明, 空间认知能力是影响学科学业成就的重要因素(Pribyl & Bodner, 1987)。那么在不同阶段的学习中, 伴随着生活经验的逐渐丰富, 个体的空间感受性及空间概念又会发生什么样的变化? 这些问题的回答都蕴含在了众多已有文献中, 本文旨在将空间认知过程中的前人研究结果进行综合性探讨, 并在此基础上介绍该研究领域中不可忽视的性别差异以及个体发展成熟过程中更倾向的策略使用研究结果, 统筹结果和差异的原因形成一个假想因素模型。

## 2. 不同年龄阶段空间能力发展的性别差异研究

婴儿和儿童期。个体在后期成长过程中认识事物、探索世界的前提是早期认知能力得以健康发展, 空间认知能力作为个体生存的基础, 因此其在个体早期发展中占有非常重要的地位(Kermoian & Campos, 1988)。人类的空间意识从自我意识产生时就已经存在, 空间能力的发展离不开视觉、听觉、触觉等感官能力。沃克和吉布森的“视崖实验”以 6~14 个月的婴儿为被试, 来评估婴儿是否具有深度知觉(Gibson &

Walk, 1960)。实验中的“悬崖”既可以监测深度知觉,也可以看作是检验婴儿是否具有立体空间能力的一个装置。除了婴儿被试的实验,后续也有研究者做了山羊为被试的同等范式的研究(Lemmon & Patterson, 1964), 研究发现不同种类的动物知觉深度的发展都与生存需要有关,这就说明了婴幼儿确实存在空间能力发展。有关婴儿期视觉发展的研究表明,在婴儿出生一周后就已经具备了尺寸守恒和形状守恒的能力;自婴儿具备爬行能力开始其空间认知就在不断发展,一项采用纵向研究的研究结果表明爬行七周的婴儿的空间认知水平显著低于具有十周爬行经验婴儿的发展水平,经验能够促进空间能力的发展(董奇等, 2001),而心理旋转能力的发展似乎在十个月大的婴儿身上出现(Moore & Johnson, 2020)。Voyer等(1995)使用元分析总结出心理旋转的性别差异在约十岁以前都没有出现,在后来的研究中也得到证实(Krüger & Ebersbach, 2018; Voyer et al., 1995)。对同一阶段儿童空间认知发展的研究也认为儿童对空间图形的正确认识总体上处于较好水平在4~7岁(田中, 戴洪萍, 2007)。有研究者对学龄前儿童(3.5~6.5岁)进行了研究,得出4.5岁左右是儿童空间方位概念发展较为迅速的时期,男童和女童差异中因性别造成的差异并不明显,作为同一年龄阶段的个体,他们的发展趋势整体上相同(郭立平, 朱易, 2017)。一项使用元分析的研究指出男性心理旋转的优势在幼儿阶段已经出现,并且会随着年纪逐渐增强。这说明心理旋转存在性别和年龄的交互作用(Lauer et al., 2019)。

中学阶段。空间策略的发展贯穿于整个儿童和青少年时期,并受到巡航和探索环境经验的影响。在7~12岁之间,儿童就可以逐渐对周围的环境线索进行整合,包括通过远处地标来推断物体位置(Vasilyeva & Lourenco, 2012)。尽管人们曾经认为空间认知的性别差异直到青春期才出现,但早期研究表明,性别差异在整个童年时期都存在(Kerns & Berenbaum, 1991),与年龄较大的儿童或成人相比,13岁以下儿童的效应量相对较小(Gur et al., 2012)。由于儿童空间能力发展的独特性和巨大的研究价值,一些国外空间能力的研究也要求再儿童空间能力的研究中使用专门为儿童而设计的任务的重要性(Rodríguez-Andrés et al., 2016; Rodríguez-Andrés et al., 2018)。在关于这个年龄阶段的研究,国内学者更多将中学生看成一个整体入手。这是因为,在初中生与高中生各自的空间认知能力结构中,大部分成分的性质是相同的(李洪玉, 林崇德, 2005)。已有文献表明,除了性别差异,不同地区间学校高中学生在地理空间能力测量上有显著差异,这可能是因为发达地区的各项教学条件都优于落后地区,包括师资水平、教学工具使用等(徐志梅, 袁孝亭, 2011);除此之外,中学生正处于一个特殊的学习阶段,他们对地理学系的认知心理和兴趣等也存在一定的特殊性,由此形成的个体差异也是一个可能会影响结果的原因。王启军通过对初二男女学生地理学习方面的空间能力研究发现,这个时期的不同性别的学生的地理空间能力表现存在差异,女生的地理空间能力和空间想象力的准确度低于男生,但是她们在空间定位能力方面的准确性略高于男生(王启军, 2008);也有研究直接得出结论,高中男生的地理空间能力优于女生(于永德, 2007)。一项基于不同认知负荷任务的学生心理折叠水平的研究发现对中学生任务表现中的差异进行分析,发现研究对象的心理折叠水平随年级增高而增加,七年级被试处于单一操作水平而八年级被试皆处于更高(钟熠, 谢圣英, 2020),心理折叠水平的发展与年龄增长相关,但研究者未报告性别差异相关的结果。总体来说,发展心理学表明这个阶段个体的逻辑思维能力的变化已经开始显现并不断发展,男孩和女孩在空间认知上面的表现各有不同,总体上男生在大多数任务上的表现都好于女生,但是性别之间的差异也并不是完全和绝对的,造成差异的原因也多种多样。青春期是个体发展中最迅速的时期,由此空间能力也在不断的发展改变,也有更多以性别为研究点检验差异的研究将研究对象扩展到了成年期。

成人阶段。对于高校学生来说,大部分都已经属于成年早期的年龄阶段,此时空间认知能力的发展已经比较完善且更为成熟。以高校学生校园活动的相关研究为例,有研究发现学生的区域活动强度明显受到活动空间距离和设施功能的影响(高鹏等, 2019)。在这类研究中,男女性别差异依然存在,男生对于

地理方向识别的优势明显,但是在空间位置记忆上的优势不大;女生对设施名称的记忆准确性要好于男生(高鹏等, 2020a)。此外,地理学院学生的认知能力相较于非地理专业的学生偏高,其他专业的学生对本专业相关性高的设施或区域的空间认知能力更好(高鹏等, 2020b)。同不少研究者将中学生地理空间认识研究作为研究方向相似,国内部分研究更多的也是着眼于高校内的空间认知研究,这样就将研究范围划分到了某一区域,而区域内环境的局限性也容易造成研究方向和结果的局限性,研究结果的推论性质也需要更多的探讨。有研究选取了一组来自健康男性和女性平均年龄从3岁到86岁不等的被试,对不同年龄阶段的被试进行空间任务测试,发现视觉空间工作记忆的性别差异首先出现在13~17岁的年龄组。尽管年龄和特定任务会调节影响的幅度和方向,但结果仍然强有力地表明了男性在视觉空间工作记忆方面的优势(Voyer et al., 2017)。此外,除了位置记忆外,所有的任务中都出现了男性的性别优势,与另一项位置记忆是否受到性别影响的研究结果报告一致(Bocchi et al., 2020)。在健康成人被试中,空间学习和空间记忆过程中的性别差异与神经生物学、行为和环境因素的相互作用有关。

一些研究通过虚拟莫里斯水迷宫(vMWM)来研究健康成人的空间学习和空间记忆表现,发现男性在学习试验和测试试验的两个阶段表现都优于女性(Astur et al., 1998),另外使用虚拟任务的实验结果也发现男性在两项基于虚拟现实的任务中的表现都优于女性(León et al., 2018)。其他一些研究表明关于性别差异的结果部分存在差异:在使用vMWM任务和相关范式的研究在空间记忆提取过程中反复表现出男性优势(Astur et al., 1998; Astur et al., 2004; Mueller et al., 2008; Nowak et al., 2014; Rizk-Jackson et al., 2006; Woolley et al., 2010),而使用放射状迷宫的研究显示了相反的效果,女性表现优于男性(Levy et al., 2005)。除了不同类型虚拟迷宫下的性别差异之外,虚拟迷宫的大小和迷宫内的线索类型可能也会造成性别间的不同表现,有研究已经发现仅能在小迷宫中使用远处线索的条件下存在性别差异,但在大迷宫的远近两种提示条件下,男女性别差异都存在(Padilla et al., 2017)。也有一些研究中报告空间记忆的表现根本没有性别差异(Banta Lavenex & Lavenex, 2010; Kober & Neuper, 2011)。有其他研究者在虚拟环境中使用vMWM检验成年被试在空间知识学习阶段和检索阶段表现的差异,发现性别差异只影响空间学习,与女性相比,男性表现出更短的反应时间和更短的路径长度;但不影响空间知识的提取,男性和女性在知识提取的反应时中无显著差异(Piber et al., 2018)。

### 3. 策略使用的性别差异

为了成功进化并维持生命,生物必须具有外出觅食并成功返回巢穴的能力。然而在这个过程中,不可避免地会失去原先位置的踪迹,这就导致生物有必要认识自己的新位置并找到正确的方向。生物通过整合外部与自身运动相关的信息来估计自己当前位置并确定方向的过程就是完成路径整合的过程(Guo et al., 2019)。我们能够认识我们自己身体的位置(Burgess, 2008),并能够跟随我们的动作,感知与我们的视角相关的转弯、距离和方向(Sluzenski et al., 2004)。这种能力依赖于视觉系统、本体觉和前庭器官,最终将所有这些感觉信息与运动输出结合起来(Burgess, 2008),这就是以自我为中心的认知策略。当我们选择环境中的其他线索,比如光流、指示牌或某一项典型地标作为我们认识环境的参照物,即建立独立于个体身体之外的认知框架时,个体就倾向于使用非自我中心的空间认知策略。实现路径整合既可以依赖以上两种策略之一,也可以两者的(Wan et al., 2010; Wan et al., 2013)。从发展的角度来看,除了自我中心参照框架的使用,儿童从三岁左右开始就表现出使用非自我中心参照框架的能力(Fernandez-Baizan et al., 2021)。以往的研究表明,女性倾向于自我中心策略,即以自身身体为中心的策略,而男性倾向于以环境为中心的策略,即以空间为中心的非自我中心策略(van Gerven et al., 2012)。在空间认知研究中,以成年人为被试的多项研究结果一致认为空间表现中存在着性别差异(Chen et al., 2020)。一项在真实场景中

(Fernandez-Baizan et al., 2020)进行的研究,在探讨自我中心策略和非自我中心策略在年轻人和老年人中的使用和表现差异时,提出并成功验证了年轻人表现比老年人好,两类策略使用任务中女性的表现都不如男性,以及不同策略相比之下非自我中心策略使用中性别差异更大。在Chen等(2020)的研究中,研究者通过虚拟环境得出2个记忆难度下性别差异显著,而在1个和3个时并没有发现显著不同,这是因为被试的记忆脑区显示在记忆两个对象时男性优于女性,而在记忆一个对象或三个对象没有这种可观测的优先级。另一项将空间学习过程分为学习阶段和检索阶段检验性别差异的研究(Piber et al., 2018)在对检索测试结果的事后检验分析中得到女性和男性在整体空间搜索策略上有显著差异,与男性相比,女性使用非自我中心地标策略的频率明显更高。即使是在不熟悉的地形上,个人对基于路线和基于调查的策略有偏好,这些策略通常与性别有关,有关动物模型的结果表明这可能也取决于体内荷尔蒙的波动(Korol et al., 2004)。即使两性由于某些脑区发育或者其他生理原因(如激素等)在空间表现方面确有不同,但空间记忆中的这类不同并不是始终存在的。这就为以后将性别变量更深刻地纳入空间认知研究提供了更多可能性。策略的选择也取决于诸如不同导航任务的需求、巡航者可获得的信息以及可用线索的可靠性等因素(Doeller et al., 2008; Etchamendy & Bohbot, 2007; Foo et al., 2005; Hölscher et al., 2009)。因此,最好的巡航者似乎是那些在不同策略之间灵活切换的人,这取决于在给定情况下什么是最佳的(Liben et al., 2010)。人类在获取空间信息的首选策略上有所不同也可追溯到生理结构的差异,基于路径的策略取决于背侧纹状体和涉及海马的认知映射。因为这些系统允许不同巡航行为的类型,为特定情况选择适当策略的能力似乎是成功的巡航者的一个关键特征(Wolbers & Hegarty, 2010)。

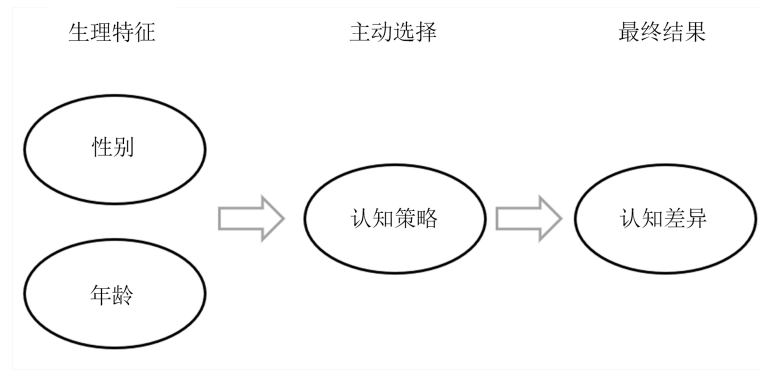
## 4. 总结与展望

### 4.1. 总结

性别对空间能力的影响随着年龄增长在不断动态变化,并受到成长经历和生理构造的影响,最终反映在认知策略、风格和不同种类任务表现等的差异上。这样看来,性别差异似乎是空间认知差异中的一个不可避免的需要考虑的问题,性别差异是否是空间能力差异中不可跨越的鸿沟?目前仍缺乏强有力的以纵向研究为依托的证据。纵观已有研究,我们可以发现影响个体空间能力的因素中,随着年龄的动态变化,性别的差异逐渐凸显,但有趣的是,这种性别的差异又不是从出生就能观察到的(起码已有证据来看至少在某一年龄段之前都不是很明显的)(Moore & Johnson, 2020)。这就说明了差异的表现最终是受到发展与环境等多因素影响的结果(Levine et al., 2016),男女性别差异导致的空间认知表现的差异或某些优势并非是生俱来的,但仍然受到生理因素的强烈影响。

而当涉及到需要完成外出任务时,个体需要根据自身对环境的加工方式和程度的不同选择适合自己的巡航策略以便帮助自己更好地完成某些空间内的任务。基于随着年龄增长导致的差异逐渐显现并发展,策略的选择更多是后期经验及偏好的产物。此外,关于策略使用,还未发现有研究明确指出自我中心和非自我中心策略使用究竟是以完全的性别差异为划分依据,还是说性别的划分只是一个总体上的标准,因此年龄和性别更多的是影响策略使用的早期生理因素,空间认知差异的最终结果需要认知策略的差异和使用来间接达到。来自神经成像的数据证实人脑能够支持使用两种类型的参照框架,支持人类巡航过程中的互补作用(Tommasi & Laeng, 2012),自我中心和非自我中心策略的使用也会受到自我运动线索选择的影响(Park et al., 2018)。如上所述,生物会同时整合外部和与自身运动相关的信息,在信息整合的过程中不可避免地会考虑自身特点、行为习惯等,这就又回到了个体差异的影响上,在人口学变量的统计中,性别和年龄一直是不可忽视的需要被考虑的重要内容。在这些基础上,我们只能生成一个链式因素假想模型,空间认知的差异的表现离不开三个因素(年龄、性别、认知策略),总的认知能力的差异是随着

年龄变化逐渐产生的, 性别差异并非出生就有而是通过年龄增长逐渐显现出来, 导致在成人阶段时的策略使用的划分与性别划分逐渐靠近, 由此产生最大程度的空间认知过程内的性别差异。性别和年龄为生物体本身的生理特征, 生理特征伴随着后期主动选择的策略使用, 共同构成了差异的显著特征。如图 1 所示:



**Figure 1.** The hypothetical chain factor model of spatial cognitive differences  
**图 1.** 空间认知差异的链式因素假想模型

该模型旨在为导致空间认知差异的间接路径做出总结, 因为不论是由于早期生理因素还是后来成长过程, 导致差异的始终是认知方式的选择发挥的作用。随着年龄的增长个体对环境的认识逐渐个体化, 所有因素的作用都是最终反映在认知方式和策略使用之上的, 因此认知策略的间接作用需要被清晰化和得到肯定。类似于一篇考察空间巡航中性别差异的实证研究, 研究者后来在解释巡航差异时认为性别不同会导致不同的寻路方式, 进而导致了巡航差异(Munio et al., 2019)。作者认为性别与巡航成功之间的关系可以通过寻路行为的间接路径来解释, 但性别同时也可能并不是这种关系的唯一或最直接的原因。在链式假想模型中, 性别和年龄也并非最终导致空间认知差异的直接原因, 它们在一定程度上影响外出的认知策略选择, 而策略选择正是性别差异与最终认知差异的间接路径。其他的在推理策略调节性别差异的研究证据中, 完成空间旋转推理任务时个体在推理表现中的差异可以理解为两种信息处理策略(反例策略和统计策略)的差异, 性别和策略使用在处理负面情绪过程中有交互作用(Markovits et al., 2018), 性别差异受到策略调节的影响, 策略使用上的个体差异提供了一种区分重要个体差异的方法(Markovits, 2019), 也为链式模型提供了路径合理性的间接支持。

#### 4.2. 未来展望

在对未来的展望上: 首先, 在控制住其他变量后只考虑性别和年龄对空间认知差异的作用时, 在未来或许可以考虑采用纵向的追踪研究更加综合且详细地探讨差异的产生和发展, 但如果要控制其他诸如区域, 环境, 教育水平等一系列因素时, 被试间完美相似的生长过程又过于理想化, 如果通过外界力量加以控制又会造成对个人成长的影响, 因此追踪设计的研究还有许多需要考虑到问题。

其次, 未来的实证研究可以考虑将性别和认知策略作为可操纵的变量, 通过设计引导被试采用不同的认知策略, 考察不同性别采用相同或不同的认知策略是否会产生同样或不同的空间认知差异。正视空间认知过程中的差异并积极寻找差异的原因才能帮助我们在未来研究过程中严格控制需要控制的因素, 并综合考虑各因素之间的互相交织的影响, 以便更好地进行分组或者选择自变量。

最后, 虽然空间认知在认知神经科学领域内具有一定的优势, 但关于这部分的发展仍然有限, 本领域内的研究结果远不如诸如记忆、注意、思维等那样广泛, 相关研究者也较少, 这些都是亟须解决的问题。

题。空间认知与其他研究密切相关, 我们对外界环境的感知(如对环境复杂度的认识、对空间密度的划分等)可以影响到我们思考问题的方式, 这些感知可能会对我们的认知及行为产生影响。比如较大的环境往往需要更多的认知资源, 当我们将空间分解为块时, 先实现对小环境的识记会比直接进行大环境记忆更容易, 这有些类似于启发式策略中的手段-目的分析方法。空间能力也与记忆相关, 简单地进入一个曾经进入过的环境会促进遗忘(提取-诱发遗忘或者唤起场景记忆(帮助再认), 交叉方向或方向结合的研究仍大有可为。

在空间认知产生的认知神经科学研究中, 未来研究可结合诸如 fMRI 技术, 借助磁共振的高空间分辨率, 可进一步详细探究如高低空间能力者在完成不同难度任务中脑区的激活程度与差异, 也可以通过成本更低操作更简便的 EEG 获得一些简单的实验过程中的皮层变化数据(空间认知和大脑), 虽然它们在一定程度上具有各自的局限性, 但是其效用仍然得到了有效证实。随着眼动技术在环境空间方面的应用, 头戴式眼动仪也是一项方便又可以随时观察到空间认知过程中实时眼动轨迹的技术手段。从而促使我们对这项认知能力有更多认识和了解, 更好地应用到实际。

## 基金项目

本研究得到教育部人文社会科学研究项目(17YJC190018); 国家社会科学基金项目(2BSH104); 天津市研究生科研创新项目(2021YJSS196)的资助。

## 参考文献

- 董奇, 张华, 曾琦, 陶沙(2001). 爬行经验与婴儿空间认知能力的发展. *心理科学*, 24(2), 129-131.
- 高鹏, 陈玲玲, 宋朝伟(2019). 高校学生校园空间活动和认知交互研究. *安庆师范大学学报(自然科学版)*, 25(4), 53-57.
- 高鹏, 陈玲玲, 宋朝伟(2020a). 高校学生校园设施空间认知差异研究. *职业技术*, 19(1), 1-5+27.
- 高鹏, 陈玲玲, 宋朝伟(2020b). 不同类型学生高校校园设施空间认知差异研究. *黄山学院学报*, 22(5), 137-140.
- 郭立平, 朱易(2017). 3.5-6.5岁儿童空间方位概念与空间可视化能力发展的关系研究. 硕士学位论文, 上海: 华东师范大学.
- 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.
- 梁建民, 崔新明, 李艳茹, 张淑琴(2006). 颞叶癫痫大鼠海马 CA1 区突触可塑性与空间记忆能力关系的研究. *中风与神经疾病杂志*, 23(2), 140-142.
- 田中, 戴洪萍(2007). 4~7岁儿童空间认知和推理能力的测试研究. *数学教育学报*, 16(4), 35-41.
- 王启军(2008). 初中生地理空间能力性别差异研究. 硕士学位论文, 长春: 东北师范大学.
- 徐志梅, 袁孝亭(2011). 高中生地理空间能力水平差异研究. *内蒙古师范大学学报(教育科学版)*, 24(12), 90-94.
- 于永德(2007). 高中生地理空间能力现状分析及教学策略研究. 硕士学位论文, 长春: 东北师范大学.
- 钟熠, 谢圣英(2020). 基于不同认知负荷任务的学生心理折叠水平研究. *数学教育学报*, 29(3), 25-31.
- 周详, 曾晖(1995). 现代认知心理学关于空间能力和心理旋转的研究. *心理科学*, 18(6), 363-365.
- “Focus on Spatial Cognition” (2017). *Nature Neuroscience*, 20, 1431. <https://doi.org/10.1038/nn.4666>
- Astur, R. S., Ortiz, M. L., & Sutherland, R. J. (1998). A Characterization of Performance by Men and Women in a Virtual Morris Water Task: A Large and Reliable Sex Difference. *Behavioral Brain Research*, 93, 185-190. [https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(98\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4328(98)00019-9)
- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., & Markus, E. J. (2004). Sex Differences and Correlations in a Virtual Morris Water Task, a Virtual Radial Arm Maze, and Mental Rotation. *Behavioural Brain Research*, 151, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.08.024>
- Banta Lavenex, P., & Lavenex, P. (2010). Spatial Relational Learning and Memory Abilities Do Not Differ between Men and Women in a Real-World, Open-Field Environment. *Behavioural Brain Research*, 207, 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.09.046>
- Bocchi, A., Palermo, L., Boccia, M., Palmiero, M., D'Amico, S., & Piccardi, L. (2020). Object Recognition and Location:

- Which Component of Object Location Memory for Landmarks Is Affected by Gender? Evidence from Four to Ten Year-Old Children. *Applied Neuropsychology: Child*, 9, 31-40. <https://doi.org/10.1080/21622965.2018.1504218>
- Burgess, N. (2008). Spatial Cognition and the Brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 77-97. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.002>
- Chen, W., Liu, B., Li, X., Wang, P., & Wang, B. (2020). Sex Differences in Spatial Memory. *Neuroscience*, 443, 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.06.016>
- Doeller, C. F., Barry, C., & Burgess, N. (2010). Evidence for Grid Cells in a Human Memory Network. *Nature*, 463, 657-661. <https://doi.org/10.1038/nature08704>
- Doeller, C. F., King, J. A., & Burgess, N. (2008). Parallel Striatal and Hippocampal Systems for Landmarks and Boundaries in Spatial Memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 5915-5920. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801489105>
- Etchamendy, N., & Bohbot, V. D. (2007). Spontaneous Navigational Strategies and Performance in the Virtual Town. *Hippocampus*, 17, 595-599. <https://doi.org/10.1002/hipo.20303>
- Fernandez-Baizan, C., Arias, J. L., & Mendez, M. (2020). Spatial Memory Assessment Reveals Age-Related Differences in Egocentric and Allocentric Memory Performance. *Behavior Brain Research*, 388, Article ID: 112646. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112646>
- Fernandez-Baizan, C., Arias, J. L., & Mendez, M. (2021). Spatial Orientation Assessment in Preschool Children: Egocentric and Allocentric Frameworks. *Applied Neuropsychology: Child*, 10, 171-193. <https://doi.org/10.1080/21622965.2019.1630278>
- Foo, P., Warren, W., Duchon, A., & Tarr, M. (2005). Do Humans Integrate Routes into a Cognitive Map? Map- versus Landmark-Based Navigation of Novel Shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, 195-215. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.31.2.195>
- Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The "Visual Cliff". *Scientific American*, 202, 64-71. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0460-64>
- Guo, J., Huang, J., & Wan, X. (2019). Influence of Route Decision-Making and Experience on Human Path Integration. *Acta Psychologica*, 193, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.12.005>
- Gur, R. C., Richard, J., Calkins, M. E., Chiavacci, R., Hansen, J. A., Bilker, W. B., Loughead, J., Connolly, J. J., Qiu, H., Mentch, F. D., Abou-Sleiman, P. M., Hakonarson, H., & Gur, R. E. (2012). Age Group and Sex Differences in Performance on a Computerized Neurocognitive Battery in Children Age 8-21. *Neuropsychology*, 26, 251-265. <https://doi.org/10.1037/a0026712>
- Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M. B., & Moser, E. I. (2005). Microstructure of a Spatial Map in the Entorhinal Cortex. *Nature*, 436, 801-806. <https://doi.org/10.1038/nature03721>
- Hahn, H. (1908). Space and Geometry in the Light of Physiological, Psychological and Physical Inquiry. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 19, A60-A60. <https://doi.org/10.1007/BF01736799>
- Hölscher, C., Büchner, S. J., Meilinger, T., & Strube, G. (2009). Adaptivity of Way Finding Strategies in a Multi-Building Ensemble: The Effects of Spatial Structure, Task Requirements, and Metric Information. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 208-219. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.05.010>
- Iaria, G., Chen, J. K., Guariglia, C., Ptito, A., & Petrides, M. (2007). Retrosplenial and Hippocampal Brain Regions in Human Navigation: Complementary Functional Contributions to the Formation and Use of Cognitive Maps. *European Journal of Neuroscience*, 25, 890-899. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05371.x>
- Kermoian, R., & Campos, J. J. (1988). Locomotor Experience: A Facilitator of Spatial Cognitive Development. *Child Development*, 59, 908-917. <https://doi.org/10.2307/1130258>
- Kerns, K. A., & Berenbaum, S. A. (1991). Sex Differences in Spatial Ability in Children. *Behavior Genetics*, 21, 383-396. <https://doi.org/10.1007/BF01065974>
- Kober, S. E., & Neuper, C. (2011). Sex Differences in Human EEG Theta Oscillations during Spatial Navigation in Virtual Reality. *International Journal of Psychophysiology*, 79, 347-355. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.12.002>
- Korol, D. L., Malin, E. L., Borden, K. A., Busby, R. A., & Couper-Leo, J. (2004). Shifts in Preferred Learning Strategy across the Estrous Cycle in Female Rats. *Hormones and Behavior*, 45, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2004.01.005>
- Krüger, M., & Ebersbach, M. (2018). Mental Rotation and the Human Body: Children's Inflexible Use of Embodiment Mirrors That of Adults. *British Journal of Developmental Psychology*, 36, 418-437. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12228>
- Lauer, J. E., Yhang, E., & Lourenco, S. F. (2019). The Development of Gender Differences in Spatial Reasoning: A Meta-Analytic Review. *Psychological Bulletin*, 145, 537-565. <https://doi.org/10.1037/bul0000191>
- Lemmon, W. B., & Patterson, G. H. (1964). Depth Perception in Sheep: Effects of Interrupting the Mother-Neonate Bond.



- Science*, 145, 835-836. <https://doi.org/10.1126/science.145.3634.835>
- León, I., Tascón, L., Ortells-Pareja, J. J., & Cimadevilla, J. M. (2018). Virtual Reality Assessment of Walking and Non-Walking Space in Men and Women with Virtual Reality-Based Tasks. *PLOS ONE*, 13, e0204995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204995>
- Levine, S. C., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S., & Ratliff, K. (2016). Sex Differences in Spatial Cognition: Advancing the Conversation. *Wiley Interdisciplinary Reviews & Cognitive Science*, 7, 127-155. <https://doi.org/10.1002/wcs.1380>
- Levy, L. J., Astur, R. S., & Frick, K. M. (2005). Men and Women Differ in Object Memory but Not Performance of a Virtual Radial Maze. *Behavior Neuroscience*, 119, 853-862. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.119.4.853>
- Liben, L. S., Myers, L. J., & Christensen, A. E. (2010). Identifying Locations and Directions on Field and Representational Mapping Tasks: Predictors of Success. *Spatial Cognition & Computation*, 10, 105-134. <https://doi.org/10.1080/13875860903568550>
- Markovits, H. (2019). Reasoning Strategy Modulates Gender Differences in Performance on a Spatial Rotation Task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology (Hove)*, 72, 2870-2876. <https://doi.org/10.1177/1747021819867203>
- Markovits, H., Trémolière, B., & Blanchette, I. (2018). Reasoning Strategies Modulate Gender Differences in Emotion Processing. *Cognition*, 170, 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.09.012>
- Moore, D. S., & Johnson, S. P. (2020). The Development of Mental Rotation Ability across the First Year after Birth. *Advances in Child Development and Behavior*, 58, 1-33. <https://doi.org/10.1016/bs.acdb.2020.01.001>
- Mueller, S. C., Jackson, C. P., & Skelton, R. W. (2008). Sex Differences in a Virtual Water Maze: An Eye Tracking and Pupillometry Study. *Behavioral Brain Research*, 193, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.05.017>
- Munion, A. K., Stefanucci, J. K., Rovira, E., Squire, P., & Hendricks, M. (2019). Gender Differences in Spatial Navigation: Characterizing Wayfinding Behaviors. *Psychonomic Bulletin & Review*, 26, 1933-1940. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01659-w>
- Nowak, N. T., Diamond, M. P., Land, S. J., & Moffat, S. D. (2014). Contributions of Sex, Testosterone, and Androgen Receptor CAG Repeat Number to Virtual Morris Water Maze Performance. *Psychoneuroendocrinology*, 41, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.12.003>
- Padilla, L. M., Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., & Cashdan, E. A. (2017). Sex Differences in Virtual Navigation Influenced by Scale and Navigation Experience. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 582-590. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1118-2>
- Park, J. L., Dudchenko, P. A., & Donaldson, D. I. (2018). Navigation in Real-World Environments: New Opportunities Afforded by Advances in Mobile Brain Imaging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, Article 361. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00361>
- Piber, D., Nowacki, J., Mueller, S. C., Wingenfeld, K., & Otte, C. (2018). Sex Effects on Spatial Learning but Not on Spatial Memory Retrieval in Healthy Young Adults. *Behavior Brain Research*, 336, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.08.034>
- Pribyl, J. R., & Bodner, G. M. (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>
- Rizk-Jackson, A. M., Acevedo, S. F., Inman, D., Howieson, D., Benice, T. S., & Raber, J. (2006). Effects of Sex on Object Recognition and Spatial Navigation in Humans. *Behavioural Brain Research*, 173, 181-190. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2006.06.029>
- Rodríguez-Andrés, D., Juan, M. C., Méndez-López, M., Pérez-Hernández, E., & Lluch, J. (2016). MnemoCity Task: Assessment of Children's Spatial Memory Using Stereoscopy and Virtual Environments. *PLOS ONE*, 11, e0161858. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161858>
- Rodríguez-Andrés, D., Méndez-López, M., Juan, M. C., & Pérez-Hernández, E. (2018). A Virtual Object-Location Task for Children: Gender and Videogame Experience Influence Navigation; Age Impacts Memory and Completion Time. *Frontiers in Psychology*, 9, Article 451. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00451>
- Sluzenski, J., Newcombe, N. S., & Satlow, E. (2004). Knowing Where Things Are in the Second Year of Life: Implications for Hippocampal Development. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1443-1451. <https://doi.org/10.1162/0898929042304804>
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive Maps in Rats and Men. *Psychological Review*, 55, 189-208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
- Tommasi, L., & Laeng, B. (2012). Psychology of Spatial Cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3, 565-580. <https://doi.org/10.1002/wcs.1198>
- van Gerven, D. J., Schneider, A. N., Wuitchik, D. M., & Skelton, R. W. (2012). Direct Measurement of Spontaneous Strategy Selection in a Virtual Morris Water Maze Shows Females Choose an Allocentric Strategy at Least as Often as Males

- Do. *Behavioral Neuroscience*, 126, 465-478. <https://doi.org/10.1037/a0027992>
- Vasilyeva, M., & Lourenco, S. F. (2012). Development of Spatial Cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 3, 349-362. <https://doi.org/10.1002/wcs.1171>
- Voyer, D., Voyer, S. D., & Saint-Aubin, J. (2017). Sex Differences in Visual-Spatial Working Memory: A Meta-Analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24, 307-334. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1085-7>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of Sex Differences in Spatial Abilities: A Meta-Analysis and Consideration of Critical Variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Wan, X., Wang, R. F., & Crowell, J. A. (2010). The Effect of Active Selection in Human Path Integration. *Journal of Vision*, 10, Article 25. <https://doi.org/10.1167/10.11.25>
- Wan, X., Wang, R. F., & Crowell, J. A. (2013). Effects of Basic Path Properties on Human Path Integration. *Spatial Cognition & Computation*, 13, 79-101. <https://doi.org/10.1080/13875868.2012.678521>
- Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What Determines Our Navigational Abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.001>
- Wolbers, T., Wiener, J., Mallot, H., & Büchel, C. (2007). Differential Recruitment of the Hippocampus, Medial Prefrontal Cortex, and the Human Motion Complex during Path Integration in Humans. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27, 9408-9416. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2146-07.2007>
- Woolley, D. G., Vermaercke, B., Op de Beeck, H., Wagemans, J., Gantois, I., D'Hooge, R., Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2010). Sex Differences in Human Virtual Water Maze Performance: Novel Measures Reveal the Relative Contribution of Directional Responding and Spatial Knowledge. *Behavior Brain Research*, 208, 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.12.019>