

基于机器人的游戏化教学方法促进儿童的数学过程性能力发展

The Robotics tutor supports children's development of mathematical procedural skills

黄乐芙¹, 王跃腾¹, 方建文^{1*}

¹温州大学 教师教育学院

*beginnerfjw@163.com

【摘要】 随着智能技术的发展, 机器人逐渐成为教育领域的新兴力量。过去的研究多聚焦于机器人在知识传递层面的应用, 对其在促进学生数学过程性能力发展方面的探究相对不足。本研究以浙江省温州市某幼儿园的 49 名 5-6 岁儿童为对象, 提出并实施了基于机器人的游戏化教学方法, 旨在探讨人形机器人对学生数学过程性能力的影响。研究结果显示, 人形机器人可显著提升儿童的数学交流能力, 但就数学过程性能力及其他细分维度而言, 人形机器人与传统教学方式未呈现出显著差异。本研究为人形机器人在幼儿数学教育领域的应用提供了新的视角和实践依据。

【关键词】 机器人; 游戏化教学; 数学过程性能力; 幼儿教育

Abstract: With the development of intelligent technology, robots are emerging as a new force in the education field. Previous research mainly focuses on their knowledge - transfer applications, with relatively less exploration into promoting students' mathematical process capabilities. This study, targeting 49 children aged 5 - 6 in a kindergarten in Wenzhou, Zhejiang, proposed and implemented a robot - based gamified teaching method. The results show that the humanoid robot can significantly improve children's mathematical communication skills. However, in terms of mathematical processual competence and other subdimensions, there are no significant differences between humanoid robots and traditional teaching methods. This study offers new perspectives and practical evidence for the application of humanoid robots in early childhood mathematics education.

Keywords: Robotics, Gamified Teaching, Mathematical Procedural skill, Early Childhood Education

1.前言

随着智能技术的发展, 人形机器人逐步融入教育教学的各个方面, 从简单的知识传递到个性化学习辅助, 机器人展现出诸多优势。因此, 将机器人应用于教育领域成为发展智能教育的重要产业之一。同时, 数学能力作为人类理性的基础, 是解决复杂问题的重要工具, 也是学生数学核心素养的具体展现。而游戏化教学, 能够提高儿童数学兴趣和探究欲, 进而促进学生数学思维和数学能力的发展(戴晶静, 2019)。

研究发现, 机器人在教育中的应用日益广泛, 它们常被用来辅导学生掌握数学知识, 如利用机器人学习图形、几何和代数概念(例如角度、测量、乘法、比例等), 这种方式让儿童学习数学变得具体、真实、易于理解(Zhong & Xia, 2020)。然而, 现有研究的局限性也较为明显, 即较少深入探究机器人如何促进学生数学过程性能力的全方位发展(钟柏昌和夏莉颖, 2020)。大部分研究停留在知识层面, 忽视了学生在数学学习的动态进程中, 数学过程性能力综合提升的深层次需求。另一方面, 伴随在线教育中游戏化倾向的不断加剧, 家长担心教学游戏可能会给儿童带来的负面影响, 例如成瘾性问题(Konok V et al., 2021)。而对于学前儿童来说, 以学习为导向, 进行与数字设备及游戏的交互可能会使其感到困惑和无聊(Khalaf S et al., 2022)。不仅如此, 在教学实践中, 构建一套完整的教学游戏面临诸多挑战, 既存在技术难题, 又需投入较高成本。此类教学游戏往往仅能围绕有限的学习目标展开设计, 高度依赖技术支

持以及教学层面的深度整合。相比之下, 游戏化策略通过巧妙运用游戏思维与设计元素, 能够更为高效地提升学习者的参与热情与学习动机(Dicheva D et al., 2015)。

在此背景下, 人形机器人作为一种智能化教学工具, 能够提高儿童的学习参与度和学习成绩(Almoussa & Alghowinem, 2023)。本研究旨在探讨人形机器人对学生数学过程性能力发展的支持作用。为达成这一目标, 我们提出基于机器人的游戏化教学方法, 使人形机器人贯穿整个教学流程, 在互动交流、协作探究等环节发挥引导作用。本研究的问题如下:

(1)与传统游戏化教学方法相比, 基于机器人的游戏化教学方法能否显著推动学生数学过程性能力的提升?

(2)与传统游戏化教学方法相比, 基于机器人的游戏化教学方法能否在学生的数学交流能力、数学表征能力、数学推理和证明能力、数学关联能力的细分维度上带来显著提升效果?

2.文献综述

2.1. 儿童数学过程性能力

儿童数学能力的发展是儿童数学学习的起点和目标。世界各国高度重视公民数学能力的培养, 并为此制定和实施国家幼儿园课程标准, 将数学教育置于至关重要的地位(陈思曼和王春燕, 2019)。数学能力可分为内容性能力和过程性能力(周晶和郭力, 2018)。数学过程性能力是指在解决数学问题时, 个体获取并运用数学知识、技能和策略的能力, 具体包括数学表征能力、数学交流能力、数学推理与验证能力和数学关联能力(周晶, 2016)。其中, 数学表征能力指运用符号、图形等表达数学概念、过程的能力; 数学交流能力指清晰表达、理解并讨论数学知识、思想的能力; 数学推理与验证能力指运用数学逻辑推导并验证结论正确性的能力; 数学关联能力则是指发现并运用数学知识间联系的能力。

研究表明, 良好的数学过程性能力对儿童的数学学习、创造力和自我效能感、批判性思维等具有积极的影响(Nunes et al., 2012; Serafino et al., 2003)。新加坡早在 2000 年颁布了以发展学生数学问题解决能力为中心的数学教学大纲, 该大纲紧密围绕问题解决这一要点, 着重提出思考技能、数学推理、交流与联系等数学过程性技能。不难看出, 儿童数学过程性能力的培养具有举足轻重的意义。

鉴于学前儿童数学能力培养的关键意义, 以及儿童在该阶段所呈现出的独特学习特性, 学前教育领域呈现游戏化趋势(杨芬, 2023)。例如, 胡英武(2020)通过组织引导儿童参与并完成数独游戏, 促使儿童在游戏过程中积极尝试解决问题, 激发其深度思考, 同时鼓励儿童之间进行交流互动与成果展示。在此过程中, 儿童能够直观感知多种不同的数学表征方式, 由此实现对其数学过程性能力的有效培育与发展(胡英武, 2020)。

然而, 就目前来看, 我国儿童数学教育在实践过程中, 多以学科知识作为教学重点, 在一定程度上忽略了对数学过程性能力的培育(张凝, 2010)。这一教学倾向致使儿童在数学知识方面表现尚可, 但在模式认知、推理能力等至关重要的数学思维方面却呈现出发展滞后的态势。显然, 这一偏差不利于儿童数学思维的系统培养。因此, 当下迫切需要在教育实践的过程中, 聚焦儿童在解决问题时运用的思维方式及策略手段, 从而全方位提升儿童的数学过程性能力。

基于此, 在学前教育阶段, 着重关注儿童数学学习的过程性能力尤为重要, 而如何为儿童数学过程性能力的成长营造有利的学习环境, 已成为当下一项关键的研究课题。

2.2. 人形机器人在儿童数学教育中的应用研究

相较于传统教具, 人形机器人凭借其与人相似的外观、灵活的关节和强大的互动性, 能够有效提高学习者的注意力、兴趣和学习表现。研究发现, 人形机器人更易引发儿童的互动兴趣, 儿童倾向与具有情感或目标导向行为的拟人化机器人进行互动(Goldman et al., 2023)。其在教育中的优势为教学活动带来了新的活力与可能性, 进而展现出独特的应用价值。

在儿童数学教育方面, 人形机器人不仅能帮助儿童理解复杂的数学概念、增强数学技能, 还能在提高儿童注意力、行为能力等方面发挥积极作用。例如, Ramachandran et al. (2019)将 NAO 机器人应用于儿童数学辅导, 改善了儿童次优求助行为与学习效果; Keren 和 Fridin (2014)

利用 Nao 机器人开展游戏活动,吸引注意力,促进互动,儿童的几何思维能力和元认知任务表现得到了显著提高。然而,当人形机器人作为主要信息传递者时,学生易对其产生依赖,进而忽视对独立思考和问题解决能力培养(Williams et al., 2019)。同时,学前教育领域人形机器人的研究相对较少,其与传统教学课堂的有效结合以及能否完全胜任教师角色等方面仍有待探索。

因此,本研究拟将人形机器人以“教师”身份引入学前儿童数学课堂,旨在提出并实施基于机器人的游戏化教学方法,以促进儿童数学过程性能力的发展。

3.基于机器人的游戏化教学方法

本研究创新性地将人形智能机器人引入学前数学课堂,提出了以机器人为引导、学生为中心、教师为辅助的基于机器人的游戏化教学方法。该方法以 Fogg 行为模型(动机、能力、触发)为基础,将数学知识巧妙融入游戏情境,并借助人形机器人这一工具,激发保持学生的数学学习兴趣,增强学生的数学过程性能力,进而提升学生的数学核心素养(丁利劲, 2023)。教学流程共包含 4 个阶段,分别是情景导入、探究新知、游戏环节、分享交流,如图 1 所示。

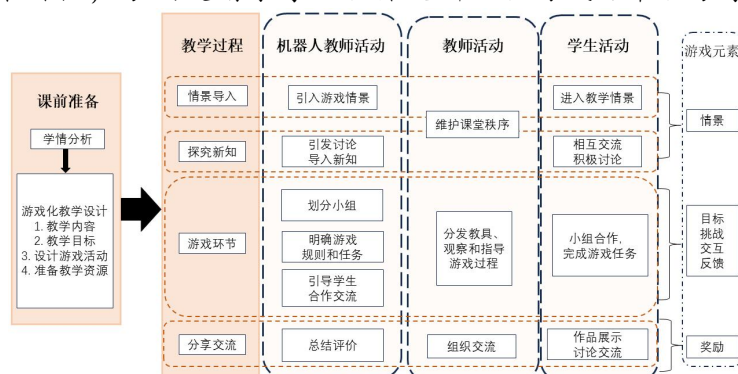


图 1 基于机器人的游戏化教学方法

(1)情景导入阶段:真实有趣的生活场景能助力儿童迅速融入教学情境。该阶段,教师是课堂秩序的维护者,基于人形机器人则需引导学生进入游戏情境,进而关联数学知识与生活场景,促使学生专注于学习内容,为后续探究学习奠定基础。以《几何变变变》为例,人形机器人创设“甜甜搬家”的游戏情景,并将搬家过程中遇到的各类生活问题与数学知识进行有机融合。例如,“院子里的树具有怎样的形态特征?其形态可以拆解为由哪些几何形状组合而成?”期间,教师承担起维护课堂秩序的职责。

(2)探究新知阶段:这一阶段,着重为儿童创造主动探索与互动的契机,促使其在动手、观察、思考中渐进式发现并理解新知识。教师的主要工作仍是维护课堂秩序,人形机器人负责借助情境问题,引导学生积极交流讨论,逐步掌握新知识。同样以《几何变变变》为例,这一阶段人形机器人引领儿童对搬家过程中出现的问题展开观察,并组织他们以交流讨论的方式探讨解决办法。例如,学生发现甜甜家的桌子因体积过大难以搬出,但如果能将桌子分解为两半呢?与此同时,教师来回走动观察,维护课堂秩序。随后,人形机器人在恰当的时机引入新的知识点,为后续的游戏内容做好铺垫。例如,“甜甜家的桌子是长方形,同学们仔细观察,长方形具有哪些特征呢?分成两半又是什么形状?”教学场景如图 2 所示。



图 2 “探究新知”教学活动

(3)**游戏环节阶段**：此为整个教学流程的核心环节，儿童参与富有趣味性与互动性的活动，既能深化对新知识的理解，又可发展问题解决及推理证明能力。本阶段开始时，人形机器人应将学生进行分组，详细阐明游戏规则及任务，而后教师分发游戏工具。在游戏过程中，人形机器人引导学生进行合作交流，而教师则需做好观察指导工作，促使学生能够更有效流畅的合作完成游戏任务。例如在《几何变变变》的教学中，人形机器人将学生按照座位划分为4-6人小组，并要求学生按照《几何拼图》任务单选择贴纸在几何拼图上进行粘贴。之后，教师为学生分发几何贴纸与拼图卡片。粘贴拼图过程中，学生反馈贴纸无法满足卡片需求，人形机器人引导小组展开讨论，共同探讨解决方案。此外，教师全程观察学生动态，适时提供帮助与指导，避免学生之间出现贴纸抢夺等情况。相关内容如图3所示。

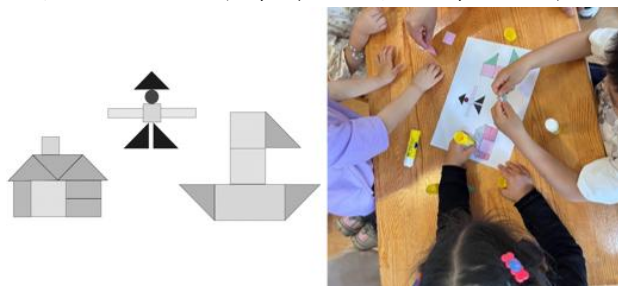


图3 左侧《几何拼图》任务单，右侧“游戏环节”教学活动

(4)**分享交流阶段**：学生通过讨论交流或作品展示，有效进行知识的梳理内化，激发深层思考。在此阶段，人形机器人需总结课堂内容、评价学生表现，积极引导反思并鼓励建议。同时，教师应做好组织工作，保证学生的交流讨论有效展开。再次以《几何变变变》为例，学生将完成的拼图作品提交给教师，并按照提交顺序依次进行分享展示。在此过程中，人形机器人依据学生的成果表现给予积极反馈。课堂最后，人形机器人对三角形、长方形、正方形的特征、分解与组合进行系统总结，进一步深化学生对几何知识的理解。相关内容如图4所示。

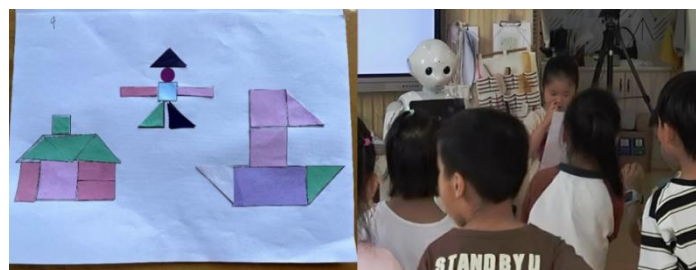


图4 左侧学生完成的作品示例，右侧“分享交流”教学活动

4. 实验设计

4.1. 参与者

本次教学实验的研究对象是浙江省温州市某幼儿园的49名5到6岁的儿童，随机划分为实验组和控制组。其中，实验组24人，采用基于人形机器人的游戏化教学方法；控制组25人，采用常规教学形式展开游戏教学方法。在研究启动前，教师向全体学生阐明了研究目的，确保所有参与均为自愿，并已事先获得其父母的书面同意。本研究严格遵循研究伦理要求，每个学生的个人信息将得到严格保护，研究得到了研究人员所在大学伦理委员会的批准(伦理审查编号：WZU-2024-093)。

4.2. 实验流程

本研究周期持续两个月，共7个课时，49名学生参与此次教学实验。在第1节课，对实验对象的数学过程性能力进行前测。在前测数据经过分析无统计学差异的前提下，第2~6课，由人形机器人的游戏化教学方法；控制组实施常规游戏化教学方法。最后，在7节课进行后测。具体流程如图5所示：

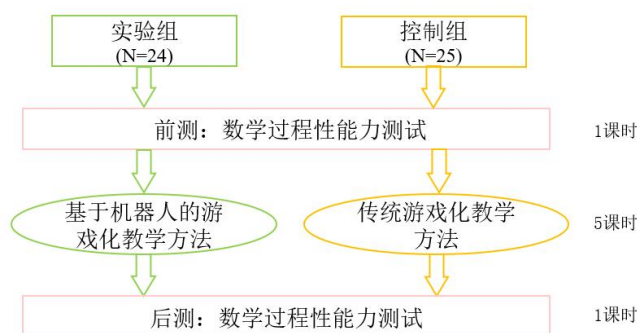


图 5 实验流程图

4.3. 研究工具

数学过程性能力量表本研究采用的量表是由周晶和郭力平(2018)对 5~7 岁儿童数学过程性能力研究编制的数学过程性能力检验表, 该表分为数学交流、数学表征、数学推理与验证和数学关联四个维度。实验采用小组活动形式, 4-6 名儿童组成活动小组参加数学活动分解与组合, 对活动过程进行全程录像。

录像资料分析采用课堂师生互动行为编码系统, 改编自方海光、高辰柱等人(2012)改进的弗兰德斯互动分析系统, 该系统由教师言语、学生言语、沉寂、材料互动、机器人言语五部分组成。通过对课堂互动行为矩阵结果, 分析其对儿童数学过程性能力的影响。

5. 实验结果

5.1. 数学过程性能力

本研究验证了儿童数学过程性能力 ANCOVA 分析的前提条件。结果显示, 数据(Shapiro-Wilk = 0.974, $p = .333 > .05$)满足正态性; 变异数同质性检定(Levene' s test), 结果为 $F(1, 47) = 1.710, p = .197 > .05$, 即实验组与控制组的变异数是同质的; 组内回归系数同质性检定(Homogeneity test), 结果为 $F(1, 45) = .959, p = .333 > .05$, 即两组的组内回归系数是同质的; 表 1 为儿童数学过程性能力的 ANCOVA 分析结果。分析结果显示, $F(1, 46) = 3.968, p = .052 > .05$, 即两组儿童在数学过程性能力方面无显著差异。

表 1. 数学过程性能力 ANCOVA 分析结果

项目	Group	N	Mean	SD	Adjusted Mean	Adjusted SD	F	η^2
数学过程性能力	Experimental	24	1.24	.37	1.241	.067	3.968	.079
	Control	25	1.06	.33	1.055	.065		

5.2. 数学交流能力

本研究验证了儿童数学交流能力 ANCOVA 分析的前提条件。结果显示, 数据(Shapiro-Wilk = 0.974, $p = .345 > .05$)满足正态性; 变异数同质性检定(Levene' s test), 结果为 $F(1, 47) = 1.087, p = .302 > .05$, 即实验组与控制组的变异数是同质的; 组内回归系数同质性检定(Homogeneity test), 结果为 $F(1, 45) = .039, p = .845 > .05$, 即两组的组内回归系数是同质的; 表 2 为儿童数学交流能力的 ANCOVA 分析结果。分析结果显示, $F(1, 46) = 4.424, p = .041 < .05$, 即两组儿童在数学交流能力方面存在显著差异。

表 2. 数学交流能力 ANCOVA 分析结果

项目	Group	N	Mean	SD	Adjusted Mean	Adjusted SD	F	η^2
数学交流能力	Experimental	24	1.42	.41	1.416	.096	4.424*	.088

力	Control	25	1.13	.52	1.134	.094
---	---------	----	------	-----	-------	------

* $p < .05$

5.3. 数学表征能力

本研究验证了儿童数学表征能力 ANCOVA 分析的前提条件。结果显示, 数据(Shapiro-Wilk = 0.976, $p = .410 > .05$)满足正态性; 变异数同质性检定(Levene' s test), 结果为 $F(1, 47) = .519$, $p = .475 > .05$, 即实验组与控制组的变异数是同质的; 组内回归系数同质性检定(Homogeneity test), 结果为 $F(1, 45) = .302$, $p = .585 > .05$, 即两组的组内回归系数是同质的; 表 3 为儿童数学表征能力的 ANCOVA 分析结果。分析结果显示, $F(1, 46) = 3.026$, $p = .089 > .05$, 即两组儿童在数学表征能力方面无显著差异。

表 3. 数学表征能力 ANCOVA 分析结果

项目	Group	N	Mean	SD	Adjusted Mean	Adjusted SD	F	η^2
数学表征能力	Experimental	24	1.028	.56	1.028	.100	3.026	.062
	Control	25	.789	.41	.786	.098		

5.4. 数学推理和证明能力

本研究验证了儿童数学推理和证明能力 ANCOVA 分析的前提条件。结果显示, 数据(Shapiro-Wilk = 0.979, $p = .526 > .05$)满足正态性; 变异数同质性检定(Levene' s test), 结果为 $F(1, 47) = 3.301$, $p = .076 > .05$, 即实验组与控制组的变异数是同质的; 组内回归系数同质性检定(Homogeneity test), 结果为 $F(1, 45) = .502$, $p = .482 > .05$, 即两组的组内回归系数是同质的; 表 4 为儿童数学推理和证明能力的 ANCOVA 分析结果。分析结果显示, $F(1, 46) = 1.093$, $p = .301 > .05$, 即两组儿童在数学推理和证明能力方面无显著差异。

表 4. 数学推理和证明能力 ANCOVA 分析结果

项目	Group	N	Mean	SD	Adjusted Mean	Adjusted SD	F	η^2
数学推理和证明能力	Experimental	24	1.35	.53	1.371	.082	1.093	.023
	Control	25	1.27	.48	1.251	.080		

5.5. 数学关联能力

本研究验证了儿童数学关联能力 ANCOVA 分析的前提条件。结果显示, 数据(Shapiro-Wilk = 0.963, $p = .125 > .05$)满足正态性; 变异数同质性检定(Levene' s test), 结果为 $F(1, 47) = .474$, $p = .494 > .05$, 即实验组与控制组的变异数是同质的; 组内回归系数同质性检定(Homogeneity test), 结果为 $F(1, 45) = .134$, $p = .716 > .05$, 即两组的组内回归系数是同质的; 表 5 为儿童数学关联能力的 ANCOVA 分析结果。分析结果显示, $F(1, 45) = .741$, $p = .394 > .05$, 即两组儿童在数学关联能力方面无显著差异。

表 5. 数学关联能力 ANCOVA 分析结果

项目	Group	N	Mean	SD	Adjusted Mean	Adjusted SD	F	η^2
数学关联能力	Experimental	24	.86	.46	.863	.088	.741	.016
	Control	25	.76	.46	.758	.086		

6. 讨论结论

6.1. 研究结果与讨论

鉴于已有文献表明人形智能机器人能够促进儿童学习,本文提出基于机器人的游戏化教学方法并未促进学前儿童的数学过程性能力,进一步分析发现,除了数学交流能力,数学表征能力、数学推理和证明能力、数学关联能力都没有明显变化。

针对研究问题1,实验组儿童的数学过程性能力发展与对照组差别不大。这意味着,相较于传统的游戏化教学方法,基于机器人的游戏化教学方法并不能显著地促进儿童数学过程性能力的发展。这可能是因为传统教师能够凭借经验观察,根据学生反馈,灵活调整教学方法,而智能机器人却在这方面有所欠缺(董狄,2019)。也可能是相较于基于人形机器人,儿童会对人类老师产生依恋,这种依恋为儿童提供安全感,促进儿童学习更多知识(Sharkey, 2016)。因此,虽然人形机器人在激发儿童好奇心、增进课堂趣味性等方面可能表现出色,但在促进儿童数学过程性能力的发展方面仍存在不足,需要进一步探索。

针对研究问题2,实验组儿童在数学表征能力、数学推理和证明能力、数学关联能力这三个维度与控制组儿童表现相似,但在数学交流维度上却表现出显著优势。这意味着基于人形机器人能显著提升儿童的数学交流能力。这可能是由于机器人从不恼怒,更有耐心,并且与每个学生的交流都不带偏见(Konijn, 2020),这为儿童的自主表达与积极互动扩展了空间。此外,人形机器人的言语互动相对有限,这可能导致课堂上出现停顿或沉寂,反而为学生创造了更多表达沟通的机会,进而显著提升他们的数学交流能力。由此可以推断出,本研究设计的基于机器人的游戏化教学方法能够促进儿童数学交流能力的发展,进一步培育儿童的数学核心素养。

6.2. 研究限制与建议

首先,本研究的范围局限于温州市某幼儿园的两个班级,样本数量较少,这可能导致研究结果缺乏代表性,难以推广至更广泛的学生群体。其次,研究周期仅为两个月,且活动设计相对单一,这对儿童的长期学习效果评估存在限制。最后,本研究以班级为单位开展,未能充分考虑儿童个体之间存在的差异性,不利于学生个性化的成长。

基于上述研究结果与讨论,为后续相关研究提出以下建议:(1)未来研究应考虑扩大样本规模,以此提升人形机器人促进学生数学过程性能力及具体维度的可靠性;(2)后续研究应延长研究周期,并丰富数学教学活动设计,从而更全面地监测和评估人形机器人对幼儿数学教学的长期干预效果;(3)未来研究可重点关注不同儿童的个性化需求,设计具有针对性的个性化教学策略,进而优化数学教学效果,实现更好的教育目标。

参考文献

- 丁利敬(2023). 基于福格行为模型的大学生自主学习能力培养研究. *湖北第二师范学院学报*, 40(06), 74-78. <https://bit.ly/3CizSwy>
- 方海光、高辰柱和陈佳(2012). 改进型弗兰德互动分析系统及其应用. *中国电化教育*, 10, 109-113. <https://bit.ly/43qCQKn>
- 杨芬(2023). 幼儿园数学教育游戏化的核心与实施路径. *学前教育研究*, 06, 83-86. <http://bit.ly/4ao1rkC>
- 陈思曼和王春燕(2019). 幼儿数学能力发展现状与影响因素研究. *陕西学前师范学院学报*, 01, 99-106. <https://bit.ly/4g4cxfJ>
- 张凝(2010). 数学过程能力: 幼儿数学思维能力的具体体现. *幼儿教育: 教育教学*, 10, 34-35. doi:10.13861/j.cnki.sece.2023.06.002
- 周晶(2016). 5~7岁儿童数学过程性能力的构成要素及应用性研究 [Unpublished doctoral dissertation]. 华东师范大学.
- 周晶和郭力平(2018). 5~7岁儿童数学过程性能力构成要素探索与模型建构. *学前教育研究*, 02, 12-24. doi:10.13861/j.cnki.sece.2018.02.002

- 胡英武(2020). 利用数独游戏培养大班幼儿数学过程性能力的实践. *金华职业技术学院学报*, **20**(6), 37-40. <https://bit.ly/4g5RBoA>
- 钟柏昌和夏莉颖(2020). “人工智能+教育”背景下机器人支持数学学习的国际案例研究. *电化教育研究*, **12**, 113-121. doi:10.13811/j.cnki.eer.2020.12.016
- 董获(2019). 人工智能与教育的融合——智能机器人在学前教育领域的应用. *教育教学论坛*, **31**, 1-2. <https://bit.ly/4hgZVZb>
- 戴晶静(2019). 在建构游戏中培养幼儿数学过程性能力. *动漫界幼教* **365**, **36**, 2. <https://bit.ly/4g2DJeV>
- Almousa, O., & Alghowinem, S. (2023). Conceptualization and development of an autonomous and personalized early literacy content and robot tutor behavior for preschool children. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, **33**(2), 261-291. doi:10.1007/s11257-022-09344-9
- Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science robotics*, **3**(21), eaat5954. doi:10.1126/scirobotics.aat5954
- Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in education: A systematic mapping study. *Journal of educational technology & society*, **18**(3), 75-88. <https://bit.ly/4jqNfvw>
- Goldman, E. J., Baumann, A. E., & Poulin-Dubois, D. (2023). Preschoolers' anthropomorphizing of robots: Do human-like properties matter?. *Frontiers in Psychology*, **13**, 1102370. doi:10.3389/fpsyg.2022.1102370
- Keren, G., & Fridin, M. (2014). Kindergarten Social Assistive Robot (KindSAR) for children' s geometric thinking and metacognitive development in preschool education: A pilot study. *Computers in human behavior*, **35**, 400-412. doi:10.1016/j.chb.2014.03.009
- Khalaf, S., Kilani, H., Razo, M. B., & Grigorenko, E. L. (2022). Bored, distracted, and confused: emotions that promote creativity and learning in a 28-month-old child using an iPad. *Journal of Intelligence*, **10**(4), 118. doi:10.3390/jintelligence10040118
- Konijn, E. A., & Hoorn, J. F. (2020). Robot tutor and pupils' educational ability: Teaching the times tables. *Computers & Education*, **157**, 103970. doi:10.1016/j.compedu.2020.103970
- Konok, V., Liskai-Peres, K., Bunford, N., Ferdinandy, B., Jurányi, Z., Ujfaluassy, D. J., ... & Miklósi, Á. (2021). Mobile use induces local attentional precedence and is associated with limited socio-cognitive skills in preschoolers. *Computers in Human Behavior*, **120**, 106758. doi:10.1016/j.chb.2021.106758
- Nunes, T., Bryant, P., Barros, R., & Sylva, K. (2012). The relative importance of two different mathematical abilities to mathematical achievement. *British Journal of Educational Psychology*, **82**(1), 136-156. doi:10.1111/j.2044-8279.2011.02033.x
- Serafino, K., & Cicchelli, T. (2003). Cognitive theories, prior knowledge, and anchored instruction on mathematical problem solving and transfer. *Education and Urban society*, **36**(1), 79-93. doi:10.1177/0013124503257016
- Sharkey, A. J. (2016). Should we welcome robot teachers?. *Ethics and Information Technology*, **18**, 283-297. doi:10.1007/s10676-016-9387-z
- Williams, R., Park, H. W., & Breazeal, C. (2019, May). A is for artificial intelligence: the impact of artificial intelligence activities on young children's perceptions of robots. In *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1-11). doi:10.1145/3290605.3300677
- Zhong, B., & Xia, L. (2020). A systematic review on exploring the potential of educational robotics in mathematics education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, **18**(1), 79-101. doi:10.1007/s10763-018-09939-y