

点阵识别技术支持的初中数学协作式精准教学模式探究

Exploring a Collaborative Precision Teaching Model for Middle School Mathematics

Supported by Dot-Matrix Recognition Technology

曾诚则¹, 梁儒铭^{2*}, 林易¹¹ 北京大学教育学院教育技术系² 上海市卢湾中学

* liangruming_1202@163.com

【摘要】 培养学生的元认知、情绪和认知能力对学生的数学发展具有重要意义。然而, 传统的教学模式无法顾及到全体学生的发展。本研究旨在探讨基于点阵笔的协作式精准教学模式对初中生数学元认知、数学焦虑及认知负荷的影响, 同时还考察了学生对点阵笔的接受度所起的作用。研究对 33 名初中一年级学生进行协作式精准教学并进行了前后测比较, 结果表明, 该教学模式能够有效提升学生的数学元认知, 特别是他们的自我意象、自我调节和策略选择。然而, 这种教学模式也增加了学生的心理负荷。最后, 学生对点阵笔的感知有用性对数学动机的提升有抑制作用。

【关键词】 精准教学; 协作学习; 数学元认知; 认知负荷; 点阵笔

Abstract: Developing students' metacognitive, emotional, and cognitive abilities is crucial for mathematical development, yet traditional teaching models often fall short. This study explored the effects of a dot-matrix pen-based collaborative precision teaching model on junior high school students' metacognition, anxiety, and cognitive load, and the role of students' acceptance of the dot-matrix pen in this process. The intervention was conducted with 33 seventh-grade students, and a pre- and post-test comparison was made. The results indicated that this teaching model effectively enhanced their mathematical metacognition, particularly their self-image, self-regulation, and strategy selection. However, it also increases students' mental load. Finally, students' perceived usefulness of the dot-matrix pen was found to have an inhibiting effect on the enhancement of their math motivation.

Keywords: precision teaching, collaborative learning, mathematical metacognition, cognitive load, dot-matrix pen

1. 前言

数学学习在日常生活中发挥着关键作用。人们经常需要运用数学思维来理解和解决各种实际问题, 例如购物时的预算计算、数据分析和统计判断等。数学思维包括直觉猜想、归纳抽象和演绎推理等能力, 而这些能力在日常情境中的应用极为广泛 (Machaba, 2017)。因此, 提升数学学习效果不仅对学业发展有益, 还能够增强学生在实际生活中的思维能力和解决问题的能力。

在发展数学学习的多种因素中, 数学元认知尤其重要。数学元认知是指个体在数学学习中对自身认知过程的自我意识、自我监控和自我调节 (Grinstein & Lipsey, 2001)。研究表明, 数学元认知在数学教育中起着至关重要的作用 (Desoete & De Craene, 2019), 有助于学生更有条理地规划、监控和评估他们的学习过程, 从而在知识建构和问题解决中表现出更高的学习效率和效果。

除了数学元认知外, 数学焦虑也是数学学习中的重要因素。数学焦虑涉及个体在处理数学问题或面对数字相关任务时所感受到的紧张和焦虑情绪 (Richardson & Suinn, 1972)。研究表明, 数学焦虑与数学表现呈负相关关系 (Barroso et al., 2021)。数学焦虑不仅会阻碍学生在数学问题解决中的表现, 还可能对他们的数学学习兴趣、信心以及长远的学术发展产生消极

影响。同时,认知负荷在数学学习中也不可忽视。认知负荷理论指出,学习者的认知能力受限于工作记忆的容量,过高的认知负荷可能阻碍知识的有效掌握 (Korbach et al., 2018)。减少数学活动中的认知负荷可以显著提升学生的数学表现 (Gillmor et al., 2015)。因此,在数学教育中关注数学元认知、数学焦虑和认知负荷这三个关键因素是很有必要的。

尽管数学元认知、数学焦虑和认知负荷都是数学学习的重要考量因素,但是传统的教学模式通常难以满足所有学生的发展需求。近年来,数据驱动的精准教学逐渐成为一种有效的教学干预手段,它通过分析学生的学习数据,能够提供个性化和差异化的教学方案,以促进全体学生的发展 (Wang et al., 2023)。然而,这类精准教学模式过度依赖个体数据,忽视了社会互动的重要性。协作学习作为一种有效的教学方法,使学生通过彼此间的协作互动,在解决数学问题时可以从同伴的不同思维和策略中获得启发,从而加深对数学概念的理解。协作学习不仅为学生提供了详细而有价值的支持,还能帮助他们在分享知识的过程中提升自己的学习水平 (Maharani et al., 2020)。

精准教学可以通过数据分析科学地进行学生分组,确保小组成员在能力、兴趣和认知风格上形成互补,使他们可能从集体学习中获得情感支持和知识共享的机会,从而进一步提高学习的效率和效果。然而,当前关于将精准教学与协作学习相结合,探讨其对学生数学发展的影响的研究较为有限。因此,探讨协作式精准教学模式对学生数学学习的影响,特别是对数学元认知、数学焦虑和认知负荷这三个关键因素的影响,具有重要的研究价值。

在精准教学的实施中,及时了解学生的学习掌握情况能够帮助教师有效调整教学方案,而点阵笔这一工具能够满足这一需求。点阵笔是一种带有压力传感器的数字书写工具,能够通过前置红外摄像头捕捉使用者的书写轨迹 (Yang et al., 2022)。基于点阵技术的智能教学平台可以实现自动批改、教学数据统计等功能,其中笔迹回放、同屏对比在课堂教学中得到了广泛的应用,帮助教师更为便捷地开展教学活动和教学管理。然而,学生对点阵笔这一技术工具的接受度是否会对协作式精准教学的效果产生影响,目前尚不明确。因此,探讨学生对点阵笔的接受度在协作式精准教学中的作用,将为理解技术工具在教学干预中的影响机制提供新的视角。

基于以上背景,本研究旨在探究基于点阵笔的协作式精准教学模式对学生数学学习的影响,特别是对数学元认知、数学焦虑和认知负荷三个方面的效果。此外,本研究还将进一步探讨学生对点阵笔的接受度在这一教学模式效果中的作用。具体来说,本研究提出了以下的研究问题:

RQ1: 协作式精准教学是否能够提升初中生的数学元认知,并降低他们的数学焦虑和认知负荷?

RQ2: 初中生对点阵笔的接受度对协作式精准教学的效果有何影响?

2. 研究方法

2.1. 研究对象

研究的对象为 33 名上海市某初中一年级学生,包括 18 名男生,15 名女生,并且学生先前均使用过点阵笔,对其功能较为熟悉。

2.2. 研究工具

2.2.1. 数学元认知

研究翻译了 Panaoura 与 Philippou (2007)的数学元认知量表。量表包括四个维度:自我意象、自我调节、策略选择、动机。自我意象是指学生对自身数学能力持有的信念和自我效能,如“我读到一个问题时,我知道我能不能解决它”。自我调节涉及理清数学问题的目标、理解数学概念、提出解决策略,并进行过程监控,如“当我在解决问题时遇到了困难,我会重新读问题”。策略选择指选择解决问题和克服认知障碍的策略,如“为了更好地理解知识,我会自己举例子来说明”。动机涉及到学生认为自己的努力、父母和教师的期望如何影响他们的数学表现,如“我的表现取决于我的努力”。

量表采用李克特 5 点评分作答, 1 分代表从不, 5 分代表总是。得分越高, 代表填答者数学学习时的元认知水平越高。量表的 Cronbach's α 值依次为 .91、.90、.94、.78, 表明该量表具有良好的信度。

2.2.2. 数学焦虑

研究翻译了 PISA (2022) 的数学焦虑量表。该量表为单向度量表, 如“我将要做数学作业时, 会感到非常紧张”。量表采用了李克特 4 点评分作答, 从 1 分 (强烈不同意) 到 4 分 (强烈同意)。得分越高, 代表填答者在数学学习时, 表现出的焦虑水平越高。量表的 Cronbach's α 值为 .93, 表明量表具有良好的信度。

2.2.3. 认知负荷

研究改编了 Hwang 等人 (2013) 的认知负荷量表, 量表包括心理负荷与心理努力两个维度。原量表关注一般的学习活动, 本研究将其改编为数学课堂环境下。心理负荷是指任务 (环境) 要求所施加的负荷, 如“我必须花很大力气才能回答数学课里的问题”。而心理努力则是指为了适应任务要求, 而分配的认知能力或认知资源的量, 如“在数学课中, 我需要花费很多精力来完成学习任务或达到学习目标”。

量表采用李克特 6 点评分作答, 从 1 分 (非常不同意) 至 6 分 (非常同意)。得分越高, 代表填答者数学学习时的认知负荷越重。量表的 Cronbach's α 值分别为 .96 和 .95, 表明该量表具有较高的信度。

2.2.4. 技术接受度

研究改编了 Teo (2009) 的技术接受度量表, 包括感知有用性、感知易用性、点阵笔使用态度、行为意图四个维度。原量表关注填答者对计算机使用的接受度, 本研究将其改编为点阵笔使用的情境, 如“我认为点阵笔很容易使用”。量表采用李克特 5 点评分作答, 1 分代表非常不同意, 5 分代表非常同意。得分越高, 代表填答者对点阵笔的接受度越高。量表的 Cronbach's α 值依次为 .96、.86、.96、.89, 表明量表具有良好的信度。

2.3. 研究流程

研究开展流程如图 1。首先, 教师根据课程单元学习目标与知识点掌握层次, 设计《三角形相关概念与性质》测试卷, 该测试卷分为“三角形的有关概念”和“三角形的内角和”两类知识点。学生使用点阵笔在点阵化作业单上完成该测试卷, 并由点阵笔系统自动评分。接着, 学生填写数学元认知、数学焦虑、认知负荷量表。

教师对学生的三角形两类知识点的得分, 以 3-聚类、4-聚类、5-聚类依次进行聚类分析, 并对聚类结果采用判别分析进行验证。以判别分析的正确率较高且避免群组过于复杂为标准。聚类结果如表 1 所示, 3-聚类、4-聚类、5 聚类的正确率依次为 97%、100%、100%, 考虑到聚类群组的简洁性, 研究将班内学生分为四组。

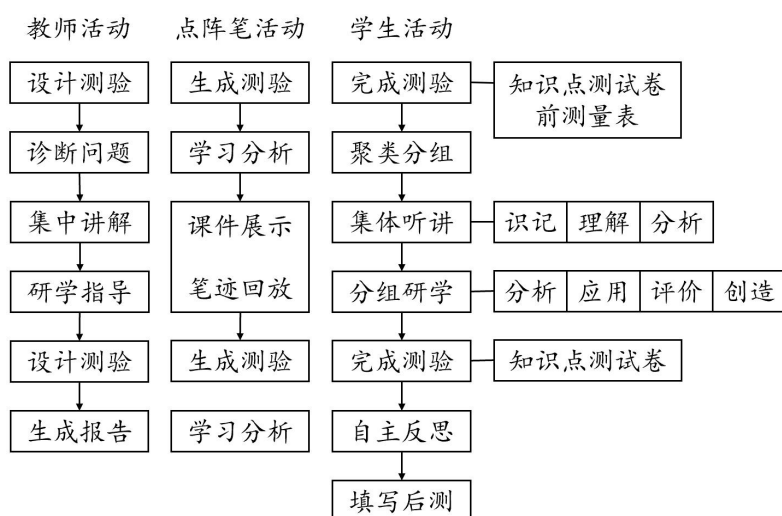


图 1 研究流程图

表 1 三角形知识点掌握的聚类分组

	组别 1 (n = 5)	组别 2 (n = 15)	组别 3 (n = 4)	组别 4 (n = 9)
三角形有关概念（6 分）	3	5.33	2.75	4.89
三角形内角和（14 分）	11	13	5	9

《三角形有关概念和性质》章节学习分析报告

0601 同学：

根据你的近期作业情况，关于《三角形有关概念和性质》相关知识你的掌握较为薄弱，以下知识点的掌握情况：

知识点	解析/案例	学习情况点评	掌握程度
三角形的三边关系	一个三角形中，任意两边之和大于第三边，任意两边之差小于第三边	☆☆☆☆☆	☆☆☆☆☆
.....			
三角形的分类	三角形按边分，有不等边三角形（三条边都不相等），等腰三角形（腰与底不等的等腰三角形、腰与底相等的等腰三角形即等边三角形）；按角分，有直角三角形、锐角三角形、钝角三角形	☆☆☆☆	☆☆☆☆
对上述知识点理解较为深刻，但在灵活应用上还需加强.....			
三角形内角和定理	三角形三个内角和等于 180°。用数学符号表示为：在△ABC 中，∠1+∠2+∠3=180°	☆☆☆	☆☆☆
.....			
三角形的外角性质	三角形的一个外角等于与它不相邻的两个内角和；三角形的一个外角大于与它不相邻的任何一个内角	☆☆☆	☆☆☆
对上述知识点在理论方面掌握较好，但必须加强练习的部分.....			

- 针对你的知识点掌握情况，对你的学习建议如下：
- 1、深入阅读课本该章节内容，从基础知识入手，深刻理解其内涵，更有利于你在解题时灵活运用各知识点；
 - 2、在课堂中认真听讲，在例题讲解中集中精力，遇到不理解的步骤及时圈画标记，在课余提问，确保完全理解和掌握；
 - 3、加强练习，给你推荐一些课外练习题，希望你在认真、及时完成所要求的学习任务之余进行练习和反思。

注意：有问题及时询问老师，老师会持续关注你的学习进度并提供帮助！看好你的进步，加油！

图 2 学习分析报告

教师先结合点阵笔系统的课件展示、笔迹回放、多屏对比功能集中讲解掌握层次为“识记”、“理解”、“分析”的共性题目。再开展分组研学，将掌握程度最高的小组分入较差的小组中讲解错题，或安排知识点掌握程度互补的学生配对相互讲解，解决掌握层次为“分析”的个性化问题与“应用”、“评价”、“创造”的题目。教师再基于相同知识点设计测试卷，并根据学生的作答情况生成学生的学习分析报告供学生反思，如图 2 所示。最后，学生再填写关于数学元认知、数学焦虑、认知负荷、技术接受度的后测量表。

2.4. 数据分析

研究采用 SPSS 进行数据分析。针对研究问题 1，研究采用配对样本 *t* 检验，比较教学干预前后学生的数学元认知、数学焦虑、认知负荷各维度的差异。对于研究问题 2，以点阵笔接受度的子维度为自变量，以数学元认知、数学焦虑、认知负荷各维度的后测得分减前测得分所得的差值为因变量进行多元回归分析。统计显著性水平为 0.05。

3. 研究结果

3.1. 协作式精准教学的效果

研究对学生在精准教学前后的数学元认知、数学焦虑、认知负荷进行配对样本 *t* 检验，结果如表 2 所示。结果表明，学生的自我意象 ($t = -2.49, p = .018$)、自我调节 ($t = -3.16, p = .003$)、策略选择 ($t = -4.11, p < .001$)、心理负荷 ($t = -2.41, p = .022$)在教学后有显著提升。而学生的动机 ($t = -1.20, p = .239$)、数学焦虑 ($t = -.35, p = .732$)、心理努力 ($t = -1.93, p = .063$)在教学前后没有显著变化。

表2 协作式精准教学对数学元认知、数学焦虑、认知负荷的影响

变量	维度	前测(M, SD)	后测(M, SD)	t	p
数学元认知	自我意象	3.79(.85)	4.03(.71)	-2.49	.018*
	自我调节	3.64(.87)	3.98(.69)	-3.16	.003**
	策略选择	3.54(.75)	3.88(.71)	-4.11	< .001***
	动机	3.90(.77)	4.01(.73)	-1.20	.239
数学焦虑	数学焦虑	2.29(.78)	2.33(.89)	-.35	.732
认知负荷	心理负荷	2.19(1.09)	2.75(1.37)	-2.41	.022*
	心理努力	2.39(1.27)	2.84(1.47)	-1.93	.063

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

3.2. 点阵笔接受度的作用

研究采用多元线性回归探究学生的点阵笔接受度对数学元认知、数学焦虑、认知负荷改变的预测效果, 分析结果如表3与表4。结果表明, 点阵笔的有用性、易用性、使用态度与行为意图可以显著预测学生数学动机的改变($F = 2.78, p = .046$), 解释其18%的方差。其中, 对点阵笔的感知有用性负向预测学生数学动机的改变($\beta = -.78, p = .017$)。而点阵笔接受度对其它变量的预测效果均不显著($F_s = .48 \sim 2.53, p_s = .063 \sim .747$)。

4. 讨论

本研究探讨了基于点阵笔的协作式精准教学对初中学生的数学元认知、数学焦虑与认知负荷的影响, 并进一步考察了技术接受度对该教学模式效果的潜在作用。研究结果揭示了协作式精准教学对学生数学元认知的积极影响, 尤其是在自我意象、自我调节和策略选择方面。然而, 该模式也在一定程度上增加了学生的认知心理负荷。此外, 学生对点阵笔技术的感知有用性负向预测了其数学动机的改变。

4.1. 数学元认知的提升

研究发现协作式精准教学显著增强了学生的数学元认知, 这在自我意象、自我调节和策略选择三个维度上尤为明显。该结果与Wang等人(2023)的研究结果一致, 他们指出数据驱动精准教学干预能够有效提升学习者的元认知意识和自我效能。Garrison与Akyol(2015)的研究进一步指出, 学习者的元认知表现受到社会、认知与教学三重因素的交互影响, 这在本研究中通过学生协作解决数学问题得到了验证。

在协作过程中, 学生能够观察并模仿同龄人应对数学问题的策略, 尤其是看到背景相似的小伙伴成功解决数学任务, 这有助于学生建立积极的自我意象并提升自我效能感。Bandura(1977)提出, 自我效能可以通过间接经验增强, 即通过观察他人的成功表现来激励自身。这种教学模式提供了这种观察机会, 不仅增进了学生对有效策略的理解, 还鼓励了自我反思。这些丰富的互动和反馈让学生在学习过程中更具信心, 并能更灵活地调整自己的学习策略, 从而提升了元认知能力。这些元认知能力的增强, 促使学生在数学学习中更加自主和自信, 为后续的学科学习打下了良好的基础。

表3 点阵笔接受度对数学元认知改变的影响

因变量	自我意象			自我调节			策略选择			动机		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p	β	t	p
有用性	-.68	-2.10	.044*	-.63	-1.88	.071	-.62	-1.81	.081	-.78	-2.54	.017*
易用性	.47	1.37	.180	.41	1.17	.253	.28	.77	.450	-.22	-.69	.499
使用态度	-.58	-1.51	.143	-.65	-1.64	.112	-.06	-.16	.877	.02	.05	.962
行为意图	.46	1.12	.272	.69	1.61	.119	.32	.72	.479	.78	1.98	.057
	$R^2 = .21$			$R^2 = .16$			$R^2 = .11$			$R^2 = .28$		
	adj $R^2 = .10$			adj $R^2 = .04$			adj $R^2 = -.02$			adj $R^2 = .18$		
	$F = 1.85$			$F = 1.33$			$F = .85$			$F = 2.78^*$		

* $p < .05$

因变量 = 后测得分-前测得分

表4 点阵笔接受度对数学焦虑、认知负荷改变的影响

因变量	数学焦虑			心理负荷			心理努力		
	β	t	p	β	t	p	β	t	p
有用性	-.10	-.28	.778	.45	1.43	.162	.22	.67	.509
易用性	-.11	-.31	.759	-.18	-.55	.585	-.43	-1.24	.224
使用态度	-.34	-.82	.421	-.75	-2.01	.054	-.43	-1.09	.283
行为意图	.35	.77	.445	.24	.60	.553	.34	.80	.428
	$R^2 = .07$			$R^2 = .27$			$R^2 = .19$		
	$adj R^2 = -.07$			$adj R^2 = .16$			$adj R^2 = .07$		
	$F = .48$			$F = 2.53$			$F = 1.59$		

4.2. 心理负荷的增加

尽管协作式精准教学促进了元认知的发展,但本研究也发现协作活动增加了学生的心理负荷。Sun 等人 (2023) 的研究指出,自我调节水平较高的学生在处理复杂任务时往往需要动用更多的工作记忆资源。在本研究中,学生在协作解决数学问题时,为了达到更好的自我调节水平和数学学习效果,可能投入了更多的认知资源。这种认知资源的增加在短期内加重了学生的心理负荷。

这一发现对教学设计提供了相应的启示。在协作式精准教学设计中,教育者应充分考虑到学生的个体差异,尤其是自我调节能力的不同,合理调整协作任务的难度和内容。此外,在教学实施过程中,教师可以提供适当的支持与指导,帮助学生逐步提升自我调节能力,减少因为认知负荷增加而带来的负面影响。未来还可以持续探索如何在协作式精准教学中平衡元认知发展与认知负荷,以优化协作学习的效果。

4.3. 点阵笔接受度抑制数学动机的提升

值得注意的是,研究还发现学生对点阵笔的感知有用性对数学动机的提升具有负向预测作用。我们推测,这一现象可能源于学生在使用点阵笔这一技术工具时产生了过度依赖心理,从而影响了他们在数学学习中的主动性和深度参与。具体而言,学生可能认为点阵笔可以详细记录他们的答题过程和表现,进而为今后回顾和反思提供便利。由于这一技术提供了高度精确的反馈和支持,学生可能因此放松了对数学知识主动探究和自我努力的重要性,他们可能认为只要依赖这一工具,便能够轻松跟踪自己的学习进度,而不需要付出过多的认知努力。这种依赖心理可能导致学生对解题过程和数学概念的掌握更加肤浅,缺乏深度理解。

这一结果对教育工作者提出了警示:在教学设计中,尤其是在使用技术工具时,教育者应谨慎权衡技术的辅助作用与学生自主学习的平衡。教师应鼓励学生更多地依赖自身的认知能力,培养他们解决问题的独立思考和自我调整能力,而不是过度依赖技术工具。

4.4. 研究局限与未来展望

尽管本研究为协作式精准教学的有效性提供了初步证据,但仍存在若干局限。首先,研究样本仅限于特定年级和地区的学生,这可能会影响研究结果的普适性。未来研究可以考虑扩大样本范围,包括不同年级和地区的学生,以验证本研究结果的广泛适用性。其次,研究采用自我报告的方式测量数学元认知、数学焦虑和技术接受度等变量,可能受到社会期望的影响。此外,有限的样本量无法进一步分析协作式精准教学对不同层次学生的影响差异。未来研究可以考虑多种数据来源,如访谈和课堂观察,以及对学生学习过程的追踪,来增强数据的可靠性,并更全面地理解不同学生在此教学模式中的体验。未来研究可以设计更长时间的干预,以观察此模式对学生数学元认知、数学焦虑和认知负荷的持续影响。同时,还可以在不同学科探索技术支持下的协作精准教学效果,以理解这些工具在多学科教学中的适用性,

并探索这些工具如何与学生的个体差异相互作用，如自我调节能力、学习动机等，以更好地支持学生的全面发展。

总体而言，本研究初步表明基于点阵笔的协作式精准教学对学生数学元认知具有显著积极影响，但也增加了学生的心理负荷。学生对技术工具的接受度在一定程度上影响了学习效果。未来的研究可以通过扩大样本和延长实验时间，为进一步优化协作式精准教学模式提供依据。

参考文献

- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review*, 84(2), 191.
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., Hart, S. A., & Daucourt, M. C. (2021). A meta-analysis of the relation between math anxiety and math achievement. *Psychological bulletin*, 147(2), 134.
- Desoete, A., & De Craene, B. (2019). Metacognition and mathematics education: An overview. *Zdm*, 51, 565-575.
- Garrison, D. R., & Akyol, Z. (2015). Toward the development of a metacognition construct for communities of inquiry. *The Internet and Higher Education*, 24, 66-71.
- Gillmor, S. C., Poggio, J., & Embretson, S. (2015). Effects of reducing the cognitive load of mathematics test items on student performance. *Numeracy*, 8(1), 4.
- Grinstein, L., & Lipsey, S. I. (2001). *Encyclopedia of mathematics education*. Routledge.
- Hwang, G. J., Yang, L. H., & Wang, S. Y. (2013). A concept map-embedded educational computer game for improving students' learning performance in natural science courses. *Computers & Education*, 69, 121-130.
- Korbach, A., Brünken, R., & Park, B. (2018). Differentiating different types of cognitive load: A comparison of different measures. *Educational Psychology Review*, 30(2), 503-529.
- Machaba, F. M. (2017). Pedagogical Demands in Mathematics and Mathematical Literacy: A Case of Mathematics and Mathematical Literacy Teachers and Facilitators. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 95-108.
- Maharani, R., Marsigit, M., & Wijaya, A. (2020). Collaborative learning with scientific approach and multiple intelligence: Its impact toward math learning achievement. *The Journal of Educational Research*, 113(4), 303-316.
- Panaoura, A., & Philippou, G. (2007). The developmental change of young pupils' metacognitive ability in mathematics in relation to their cognitive abilities. *Cognitive development*, 22(2), 149-164.
- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The mathematics anxiety rating scale: psychometric data. *Journal of counseling Psychology*, 19(6), 551.
- Sun, J. C. Y., Liu, Y., Lin, X., & Hu, X. (2023). Temporal learning analytics to explore traces of self-regulated learning behaviors and their associations with learning performance, cognitive load, and student engagement in an asynchronous online course. *Frontiers in Psychology*, 13, 1096337.
- Teo, T. (2009). Modelling technology acceptance in education: A study of pre-service teachers. *Computers & education*, 52(2), 302-312.
- Wang, Y. J., Gao, C. L., & Ye, X. D. (2023). A data-driven precision teaching intervention mechanism to improve secondary school students' learning effectiveness. *Education and Information Technologies*, 1-29.

Yang, Q., Zhan, Z., & Du, X. (2022). A learning engagement analysis model for assignments based on dot matrix pen technology. *Proceedings of the 6th International Conference on Education and Multimedia Technology*, 90–96.