·科研论著·

学龄前儿童数学学习能力量表的研制和信效度分析

杨炜[1,2]，徐蕖[3,4]，张蕾[3,4]，蒋佶颖[3,4]，姚梦梦[3,4]，童梅玲[3,4]，洪琴[3,4]，池霞[3,4]

1. 南京医科大学儿科学院，江苏 南京 211166；2. 南京市秦淮区妇幼保健所，江苏 南京 210000；
3. 南京医科大学附属妇产医院（南京市妇幼保健院）；4. 南京市发育行为医学重点实验室

摘 要：目的 编制适合学龄前儿童数学学习能力的评估工具，并进行信效度分析，为临床早期识别数学学习困难儿童提供科学、可行的工具。**方法** 构建量表框架及条目，根据专家咨询意见及预调查进行修订，形成学龄前儿童数学学习能力量表。采用多阶段抽样方法，共纳入 500 名 3～6 岁儿童，进行调查并对量表进行信、效度分析。**结果** 学龄前儿童数学学习能力量表下设 4 个维度，共 24 个条目。效度检验结果显示，探索性因子分析 *KMO* 值为 0.945，可提取 4 个维度；验证性因子分析，量表结构模型拟合 $\chi^2/df=3.033$，*RMSEA*＝0.064，*CFI*＝0.917，*TLI*＝0.907，*IFI*＝0.918；各维度与总量表相关系数为 0.755～0.924 之间；以韦氏学龄前儿童智力测验量表算数部分为效标，与总量表相关系数为 0.811，各维度相关系数在 0.589～0.777 之间；信度检验结果显示，总量表 Cronbach′s α 系数为 0.937，各维度在 0.787～0.872 之间；总量表折半信度为 0.911，各维度在 0.679～0.899 之间；总量表重测信度为 0.986，各维度在 0.822～0.927 之间。**结论** 学龄前儿童数学学习能力量表信效度良好，为学龄前数学学习困难儿童的早期识别与早期干预提供理论依据。

关键词： 学龄前儿童；数学学习；量表；信效度

中图分类号：G613；R179 **文献标识码：**A **文章编号：**1008-6579(2025)04-0372-06 doi：10.11852/zgetbjzz2024-1468

Development and psychometric analysis of Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

YANG Wei[1,2], XU Qu[3,4], ZHANG Lei[3,4], JIANG Jiying[3,4], YAO Mengmeng[3,4], TONG Meiling[3,4], HONG Qin[3,4], CHI Xia[3,4]

1. School of Pediatrics, Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu 211166, China;

2. Nanjing Qinhuai Women and Children Health Institute, Nanjing, Jiangsu 210000, China;

3. Women′s Hospital of Nanjing Medical University (Nanjing Women and Children′s Healthcare Hospital);

4. Nanjing Medical Key Laboratory of Developmental Behavioral Pediatrics;

Corresponding author: CHI Xia, E-mail: chixia2001@njmu.edu.cn

Abstract: Objective To develop a mathematical ability assessment tool suitable for preschool children, and to conduct reliability and validity analysis, so as to provide a scientific and feasible instrument for the early clinical identification of children with mathematical learning difficulties. **Methods** The framework and items of the scale were constructed and revised based on expert consultations and preliminary surveys, ultimately forming the Preschool Children′s Mathematical Learning Ability Scale. A multi-stage sampling method was employed, and a total of 500 children aged 3 - 6 years were included in the study. Reliability and validity analysis were conducted on the sample data. **Results** The Preschool Children′s Mathematics Learning Ability Scale consisted of 24 items across four dimensions. In terms of validity testing, the exploratory factor analysis yielded a KMO value of 0.945, with four dimensions extracted. Confirmatory factor analysis showed that the scale structure model fit well, with $\chi^2/df=3.033$, *RMSEA*＝0.064, *CFI*＝0.917, *TLI*＝0.907, and *IFI*＝0.918. The correlation coefficients between each dimension and the total scale ranged from 0.755 to 0.924. Using the arithmetic subtest of the Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Third Edition as a criterion, the correlation coefficient with the total scale was 0.811, and the correlation coefficients with individual dimensions ranged from 0.589 to 0.777. The reliability tests confirmed that the Cronbach′s α coefficient for the total scale was 0.937, with each dimension ranging from 0.787 to 0.872. The split-half reliability of the total scale was 0.911, with each dimension ranging from 0.679 to 0.899. The test-retest reliability of the total scale was 0.986, with each dimensions ranging from 0.822 to 0.927.

基金项目：江苏省科技计划专项重点研发计划社会发展项目（BE2023666）；江苏省科技资源重大疾病生物样本统筹服务平台开放课题（TC2022B022）；南京市卫生科技发展专项资金项目（YKK23154）；江苏省妇幼保健协会科研项目（FYX202341）；南京医科大学科技发展基金（NMUB20220112）

作者简介：杨炜（1978—），女，主治医师，硕士研究生在读，主要研究方向为儿童保健。

通信作者：池霞，E-mail：chixia2001@njmu.edu.cn

Conclusion　The Preschool Children's Mathematics Learning Ability Scale demonstrates good reliability and validity, providing theoretical basis for the early identification and intervention of children with Mathematics learning difficulties.

Keywords:　preschool children; mathematics learning; scale; reliability and validity

特定学习障碍伴数学受损，又称数学学习障碍（mathematics learning disabilities，MLD），表现为在数学相关的学业技能上显著而持续的困难，如难以掌握数感、数字事实或计算，数学推理困难[1]，是一种常见的神经发育障碍性疾病[2-3]。流行病学调查显示，国外中小学儿童数学学习障碍患病率为3%～14%，我国的发病率为 6%～7%[4]。诸多研究发现数学学习障碍始于儿童早期[5-6]，主要表现为数感的缺陷，数数、识数、数的比较、按数取物、简单运算的落后，对更大/更小、更长/更短概念理解困难等[1]。因此，在学龄前期对数学学习困难的儿童进行早期筛查并早期针对性的干预就显得尤为重要[7]。然而，目前国内缺乏标准化评估工具供临床使用。本研究拟通过文献回顾，基于学龄前儿童数学认知能力的发展规律，通过标准化量表编制流程，构建适合我国学龄前儿童的数学学习能力评估工具，为临床早期识别数学学习困难儿童提供科学可行的工具，为制定针对性的干预措施提供依据。

1　对象和方法

1.1　量表编制　通过文献回顾，基于学龄前儿童数学认知能力的发展规律，构建量表的理论框架，初步确定量表维度。借鉴国内外现有相关评估工具，并经专题小组讨论，编写量表条目池。运用德尔菲专家咨询法，邀请儿童保健、发育行为学、教育学、心理学等领域专家，采用 5 级评分法对条目重要、相关性进行评价，根据结果及专家建设性意见对条目进行删除或修订，形成量表预测版。

1.2　预调查与量表形成

1.2.1　对象　于 2023 年 4—6 月，采用整群抽样，在南京城区随机抽取 1 所幼儿园，整群纳入幼儿园 237 名 3～6 岁儿童。纳入标准：1）3～6 岁学龄前儿童；2）家长学历为初中及以上文化水平、具有正常沟通和认知能力；3）家长签署知情同意书。排除标准：1）诊断为其他神经发育障碍性疾病或精神障碍，如智力障碍、孤独症谱系障碍等；2）患有器质性和功能性躯体疾病；3）拒绝参与者。剔除标准：资料收集不完整者。本研究通过南京市妇幼保健院伦理委员会批准[(2022)KY-129]。

1.2.2　方法　1）一般情况调查表：包括儿童性别、年龄、出生年月日、年级等；2）学龄前儿童数学学习能力量表（初始版）：共 24 个条目，评估工具及指导手册见图 1～2。



图 1　评估工具

Fig. 1　Assessment instrument

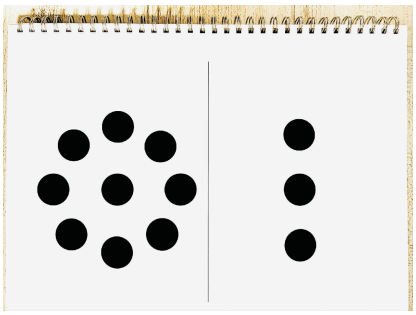


图 2　指导手册

Fig. 2　Guidebook

1.3　正式测验与信效度分析

1.3.1　对象　于 2023 年 10 月—2024 年 5 月，采用多阶段抽样，按 2022 年人均 GDP 将南京市 12 个区划分为经济收入中上、中等、中下三层，每层随机抽取 1 个区，每个区随机抽取 1 所幼儿园，每所幼儿园按大、中、小班，每年级抽取 2 个班。纳入及排除标准同 1.2.1。

1.3.2　方法　1）一般情况调查表；2）学龄前儿童数学学习能力量表；3）韦氏学龄前儿童智力测验量表（Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence，WPSSI）算数部分。

1.4　质量控制　施测前对参与的研究员进行规范化培训，统一操作标准和要求。现场施测采取个别测验的方式。测验结果的评定标准均按相应评分手册执行，由接受过规范培训的研究员现场进行评定及记录。所有数据采用 EpiData 进行双轨录入，保证数据的准确性。

1.5　统计学方法　使用 SPSS 29.0 及 AMOS 22.0 进行数据统计分析。采用临界比值法、难度、区分度、相关系数法、内部一致性分析、因子分析法进行

项目分析。采用探索性因素分析、相关性分析、验证性因素分析、效标效度检验量表效度；采用内部一致性信度、折半信度、重测信度检验量表信度。

2 结 果

2.1 量表编制 研究表明，数感与计算是学龄前儿童数学认知能力的核心[8]；学龄前数学学习障碍的核心障碍点为数感及计算能力的缺陷。因此，学龄前儿童数学学习能力量表围绕数感和运算两个维度构建理论框架，涵盖数的比较、计数、数序、数的组成、符号认识、实物加减、表象加减、抽象加减。见图3。参考国内外相关量表，并经专题小组讨论，初步构建量表条目，共有 26 个条目。

采用德尔菲专家咨询法，选择儿童保健、发育行为学、教育学、心理学领域 14 名专家填写咨询表。本轮专家咨询表回收率为 100%；各专家权威系数在 0.8～1.1 之间，可信度较高。专家意见集中程度结果显示，共 2 个条目的平均得分≤4，考虑予以删除，分别为条目 4 和条目 25。专家意见协调程度结果显示，*Kendall′W* 为 0.49，介于 0.4～0.5 之间，专家意见趋于一致。综合专家咨询结果，形成学龄前儿童数学学习能力量表，共 24 个项目条。

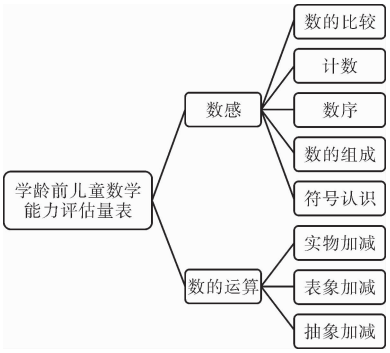


图 3 学龄前儿童数学学习能力量表初步框架构建

Fig. 3 Framework construction of the Preschool Children′s Mathematics Learning Ability Scale

2.2 预调查与量表形成

2.2.1 一般资料 抽取南京市 1 所幼儿园 3～6 岁儿童共 237 名，回收有效量表 228 份，回收有效率为 96.20%。其中，男生 127 名(55.70%)，女生 101 名(44.30%)；小班 54 名(23.68%)，中班 85 名(37.28%)，大班 89 名(39.04%)。

2.2.2 项目分析 综合临界比值法、难度及区分度、相关系数法、内部一致性分析、因子分析法 6 种项目分析方法的结果，将两种以上项目分析方法中考虑被删除的条目予以删除。结果显示，尚不考虑删除任何条目。见表 1。

表 1 学龄前儿童数学学习能力量表项目分析结果

Tab. 1 Scale item analysis results of the Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

条目	*CR*	难度	区分度	条目与总分相关系数	修正的项与总计相关性	删除项后的 Cronbach′s α	因子载荷	共同性	筛选结果
1	10.316	0.68	0.48	0.598	0.529	0.942	0.780	0.698	保留
2	9.573	0.64	0.48	0.550	0.498	0.942	0.728	0.614	保留
3	14.350	0.54	0.77	0.637	0.594	0.941	0.436	0.446	保留
4	6.538	0.50	0.77	0.545	0.461	0.943	0.713	0.574	保留
5	13.263	0.63	0.51	0.542	0.524	0.942	0.667	0.59	保留
6	9.152	0.48	0.74	0.689	0.646	0.940	0.546	0.496	保留
7	17.249	0.47	0.79	0.700	0.657	0.940	0.676	0.571	保留
8	16.533	0.62	0.58	0.576	0.545	0.942	0.630	0.584	保留
9	11.434	0.51	0.72	0.754	0.736	0.939	0.647	0.703	保留
10	18.227	0.41	0.72	0.710	0.536	0.942	0.469	0.418	保留
11	16.963	0.33	0.63	0.621	0.564	0.941	0.567	0.657	保留
12	10.443	0.68	0.57	0.700	0.687	0.940	0.573	0.694	保留
13	17.447	0.60	0.57	0.698	0.687	0.940	0.580	0.65	保留
14	16.529	0.56	0.72	0.786	0.767	0.939	0.641	0.662	保留
15	20.592	0.53	0.57	0.677	0.662	0.940	0.646	0.584	保留
16	12.792	0.68	0.59	0.673	0.657	0.940	0.544	0.631	保留
17	14.137	0.56	0.52	0.632	0.606	0.941	0.473	0.470	保留
18	10.177	0.53	0.61	0.650	0.614	0.941	0.619	0.547	保留
19	11.947	0.43	0.49	0.565	0.549	0.942	0.562	0.501	保留
20	8.415	0.52	0.90	0.759	0.735	0.939	0.596	0.633	保留
21	24.194	0.49	0.93	0.778	0.743	0.939	0.692	0.666	保留
22	29.935	0.47	0.87	0.715	0.667	0.940	0.695	0.587	保留
23	17.925	0.49	0.52	0.697	0.672	0.941	0.551	0.590	保留
24	12.430	0.49	0.86	0.882	0.852	0.938	0.696	0.795	保留

2.3　正式调查

2.3.1　一般资料　抽取南京市 3 所幼儿园 3～6 岁儿童共 509 名，回收有效量表 500 份，回收有效率为 98.23%。其中，男生 237 名(47.40%)，女生 263 名(52.60%)；小班 172 名(34.40%)，中班 160 名(32.00%)，大班 168 名(33.60%)。

2.3.2　效度检验

2.3.2.1　探索性因子分析　$KMO=0.945>0.8$，球形度检验近似卡方＝6 181.599，提示本研究适合进行探索性因子分析。通过主成分分析法，按照特征值大于 1，可以提取 4 个主成分，命名为数与比较、关系与分解、实物运算和算数运算，可解释总方差解释率为 58.14%。各条目因子载荷为 0.449～0.798 之间。见表 2。

表 2　学龄前儿童数学学习能力量表探索性因子分析结果

Tab. 2　Exploratory factor analysis results of the Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

条目	因子载荷				共同性
	数与比较	关系与分解	实物运算	算数运算	
1	0.597				0.543
2	0.609				0.515
3	0.568				0.482
4	0.548				0.456
5	0.608				0.479
12	0.583				0.584
13	0.549				0.58
6		0.569			0.568
7		0.566			0.552
8		0.798			0.702
9		0.755			0.723
16			0.489		0.533
17			0.723		0.693
18			0.747		0.704
19			0.732		0.648
10				0.449	0.454
11				0.657	0.533
14				0.602	0.602
15				0.696	0.583
20				0.548	0.588
21				0.640	0.644
22				0.611	0.545
23				0.461	0.478
24				0.588	0.764

2.3.2.2　验证性因素分析　根据探索性因子分析结果，总量表提取数与比较、关系与分解、实物运算和算数运算 4 个维度。在量表设计的初期阶段，构建理论框架时主要围绕数感及运算 2 个因子。因此，根据量表各条目定义及目的，进一步将数与比较、关系与分解归类于数感因子，实物运算和算数运算归类于运算因子。以 4 个维度作为一级潜变量，以数感及运算因子作为二级潜变量进行二阶验证性因素分析，结果显示一级因子载荷在 0.45～0.89 之间，二级因子载荷在 0.80～0.96 之间，均在理想水平(见图 4)；二阶模型验证性因子分析，χ^2/df 值为 3.033，近似误差均方根 *RMSEA* 值为 0.064，比较拟合指数 *CFI* 值为 0.917，Tucker-Lewis 指数 *TLI* 值为 0.907，增值拟合指数 *IFI* 值为 0.918，提示量表结构模型拟合度良好，说明二阶模型较为合理，能反映数感及运算 2 个高阶因子。

2.3.2.3　相关性分析　各维度与总量表相关系数为 0.755～0.924 之间，各维度间相关系数为 0.537～0.787 之间，$P<0.001$。各维度与总量表相关系数高于各维度间相关系数，提示各维度能紧密反映整体量表特征，量表结构效度佳。见表 3。

2.3.2.4　效标效度分析　以韦氏学龄前儿童智力测验量表算数部分作为效标，与总量表 Spearman 相关系数为 0.811，与各维度 Spearman 相关系数分别为 0.747，0.589，0.777，0.633，差异有统计学意义($P<0.001$)。

2.3.3　信度检验　1)内部一致性信度：总量表 Cronbach's α 值为 0.937，各维度的 Cronbach's α 为 0.787～0.872，均在 0.7 以上，提示该量表的内部一致性较好。2)折半信度：总量表 *Spearman-Brown* 系数为 0.911，各维度的 *Spearman-Brown* 系数在 0.679～0.899 之间，均大于 0.6，该量表的折半信度较好。3)重测信度：量表的重测信度为 0.986，各维度重测信度为 0.822～0.927 之间，量表重测信度较好。见表 4。

3　讨　论

3.1　学龄前儿童数学学习能力量表构建　学龄前数学学习障碍的核心障碍点是数感及计算能力的缺陷，导致儿童在数学概念和基本运算理解上出现困难，进而影响其数学学习能力的发展[9-10]。数感是是数学学习的基础，是指对数量和数字的基本处理，主要涉及符号认识、计数、数的顺序、数的分解、数量比较等[11]。计算能力是数学学习的核心技能之一，指儿童对事物之间普遍关系抽象、概括所必备的基本认知能力之一[8]。学龄前期是儿童基本计算技能发展的重要时期，为后续学习更复杂的数学运算(如乘法、除法、分数等)奠定基础。本研究量表作为学龄前儿童数学能力筛查量表，旨在早期识别存在数学学习困难的儿童，从而进行早期干预。因此，本研究围绕数感和运算两个维度构建量表理论框架，参考目前国内外数学学习能力相关筛查量表，构建项目池。

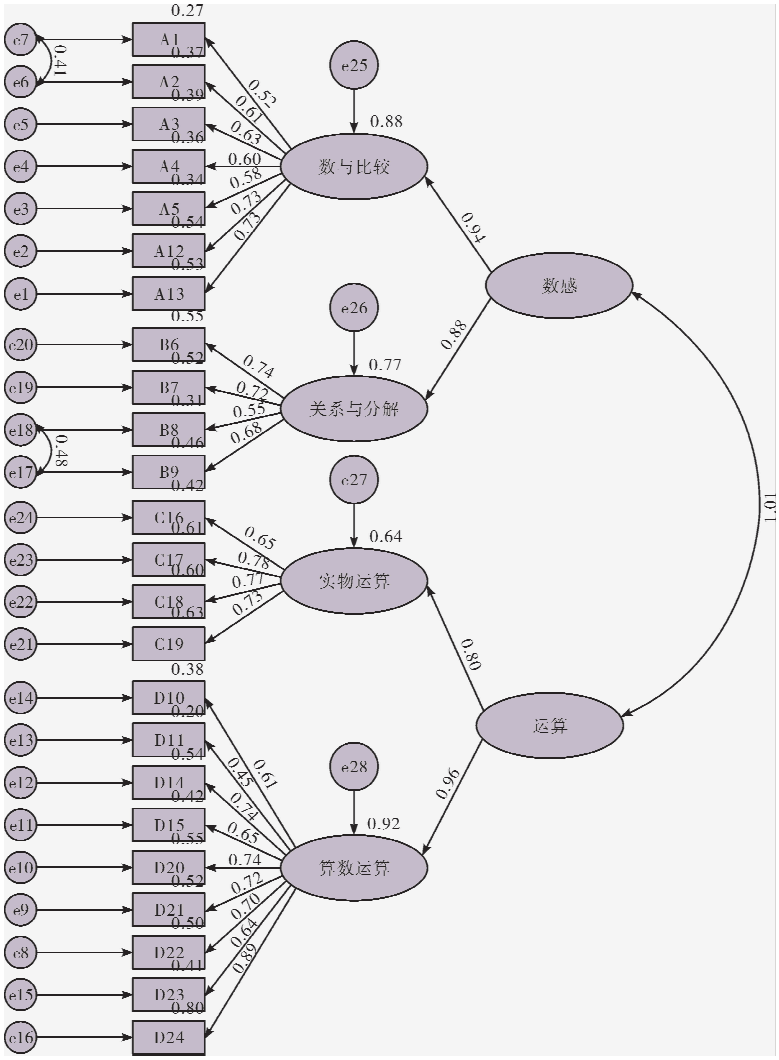


图 4 学龄前儿童数学学习能力量表二阶模型标准化路径系数图

Fig. 4 Standardized path coefficient diagram of the second order model of the Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

表 3 学龄前儿童数学学习能力量表各维度与总量表相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis between dimensions and total scale of Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

维度	数与比较	关系与分解	实物运算	算数运算
数与比较	1			
关系与分解	0.613	1		
实物运算	0.696	0.537	1	
算数运算	0.787	0.660	0.702	1
总量表	0.924	0.755	0.915	0.833

表 4 学龄前儿童数学学习能力量表信度分析结果

Tab. 4 Reliability analysis results of the Mathematics Learning Ability Scale for Preschool Children

项目	Cronbach's α 值	折半系数	重测系数
数与比较	0.818	0.788	0.874
关系与分解	0.787	0.679	0.862
实物运算	0.813	0.796	0.822
算数运算	0.872	0.899	0.927
总量表	0.937	0.911	0.986

3.2 学龄前儿童数学学习能力量表预调查与项目分析 量表初步形成后，为确保量表在正式应用前已达到预期的科学性和实用性，在小规模样本中测试学龄前儿童数学学习能力量表（初始版）。临界比值法分析显示，各条目 *CR* 值均大于 3，条目的鉴别度较好。难度与区分度分析显示，难度在 0.5 左右的题占大多数，各条目区分度均在 0.4 以上，区分度优秀，整体测验难度与区分度适中。相关系数法及内部一致性分析提示各条目相关性良好，内部稳定高。为确保条目的合理性，进一步进行探索性因素分析，结果提示所有条目因子载荷大于 0.4、没有难以明确归类或同时出现在多个维度中的条目。本研究综合以上 6 种项目分析结果，提示保留现有 24 个条目。

3.3　学龄前儿童数学学习能力量表效度分析　效度是衡量量表准确性和有用性的关键指标。本研究结合目前国内外研究现状编制量表条目，并由资深领域专家修订及筛选，有效保障量表的内容效度。结构效度方面，首先通过探索性因子分析，观察变量背后的潜在结构，通过主成分分析法，按照特征值大于 1，可以提取 4 个因子。通过各维度条目归纳总结，定义各维度为数与比较、关系与分解、实物运算、算数运算 4 个维度。进一步以数与比较、关系与分解、实物运算、算数运算 4 个维度作为一级潜变量，以数感及运算因子作为二级潜变量进行二阶验证性因素分析，结果显示二阶模型适配程度较为理想，均在参考值范围内，且区分效度理想。因此，学龄前数学学习能力量表能对初始量表构建时的数感及运算两个因素进行较全面的评估。

3.4　学龄前儿童数学学习能力量表信度分析　量表的信度是指量表测量的可靠性和稳定性。最常用的评价量表信度的指标包括：内部一致性信度、折半信度、重测信度。本研究结果提示量表内部一致性信度及折半信度较好。重测信度是评估量表稳定性的重要指标，值越高，说明量表在时间上的可靠性和稳定性高。本研究测验在测试两周后，采用便利抽样，抽取 49 例进行重测（大于 5%样本数）总量表重测信度 0.986，各维度重测信度为 0.822-0.927，量表稳定高。

综上所述，本研究基于儿童数学学习能力发展特征，编制《学龄前儿童数学学习能力量表》，并通过进一步信效度研究显示，该量表在信度和效度方面表现良好，为临床早期识别学龄前数学学习问题儿童提供新的参考，为制定早期针对性的干预措施提供理论依据。

参考文献

[1] 杨斌让. 特定学习障碍[J]. 中华实用儿科临床杂志，2015，30(11)：810-817.
Yang BR. Specific learning disorder[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2015, 30(11): 810-817.

[2] Devine A, Hill F, Carey E, et al. Cognitive and emotional math problems largely dissociate: Prevalence of developmental dyscalculia and mathematics anxiety[J]. J Educ Psychol, 2018, 110(3): 431.

[3] Endlich D, Dummert F, Schneider W, et al. Verhaltensprobleme bei Kindern mit umschriebener und kombinierter schulischer Minderleistung[J]. Kindheit und Entwicklung, 2014, 23(1): 61-69.

[4] 左依凡. 小学低年级数学学习困难学生视听觉工作记忆与数学运算的关系研究[D]. 上海：华东师范大学，2022.
Zuo YF. A study on the relationship between visual and auditory working memory and Mathematics operation of lower grade primary school students with Mathematics Learning [D]. Shanghai: Difficulty East China Norm, 2022.

[5] Aquil MAI. Diagnosis of dyscalculia: A comprehensive overview[J]. South Asian Journal of Social Sciences and Humanities, 2020, 1(1): 43-59.

[6] Hussain K, Soares N. Dyscalculia[J]. International Journal of Child Health & Human Development, 2022, 15(3): 249-262.

[7] Haberstroh S, Schulte-Körne G. The diagnosis and treatment of dyscalculia[J]. Deutsches Ärzteblatt International, 2019, 116(7): 107.

[8] 曹丹丹，5～6 岁幼儿数学发展水平模型建构及应用研究[D]. 重庆：西南大学，2020.
Cao DD. Research on the construction and application of children's mathematics development level model for children aged 5-6[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.

[9] Francesmonneris A, Pincus HA, First M. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5[J]. American Psychiatric Association, 2013.

[10] 王宣惠，洪儷瑜. 我們真的認識數學障礙嗎？-臺灣數學障礙 20 年研究回顧與問題探究[J]. 特殊教育研究學刊，2019，44(1)：59-90.
Wang HH, Hung LY. Understanding mathematics learning disabilities: Two decades of research in Taiwan[J]. Bulletin of Special Education, 2019, 44(1): 59-90.

[11] Haberstroh S, Schulte-Körne G. The cognitive profile of math difficulties: A Meta-analysis based on clinical criteria [J]. Front Psychol, 2022, 13: 842391.

收稿日期：2024-12-12　**修回日期**：2025-02-17　**本文编辑**：杨媛媛