高绩效体系中的低进展数学：

数学焦虑在新加坡小学生中的作用

引言

数学与日常生活密不可分，不仅因为它在学校学业成就中占很大比重，还因为它涉及未来的职业发展、投资和财务管理等诸多领域（Bynner，2004；Lusardi & Mitchell，2011；Mammarella 等人，2015）。作为数学表现出色的国家，新加坡学生被发现具有较高水平的数学焦虑（Foley 等人，2017）；数学焦虑是指在各种日常活动和学校情境中，由于紧张或担忧而影响数学表现的感受（Richardson & Suinn，1972），即使在表现出色的教育体系中也会出现。在新加坡，国际学生评估项目（PISA）的结果显示，这个城市国家一直稳居全球顶尖教育体系之列，尤其是在数学方面，但成就分布中也存在长尾现象（OECD，2013）。具体而言，仍有 15–20 个百分点的数学学习进展缓慢的学习者，尽管学校采取了多管齐下的行为干预方法，他们仍持续面临困难（Ng 等人，2007）。其中一些人还可能有发展性计算障碍风险（数学学习障碍），这是一种由脑部因素导致的数学学习障碍，不能归因于智力低下和／或教育不足（Rubinsten & Henik，2009）。这种较弱的初始数学能力可能会因数学焦虑而进一步加剧，形成恶性循环（Rubinsten & Tannock，2010）。然而，现有关于数学焦虑的文献主要聚焦于成年人，忽视了儿童数学焦虑的出现，尤其是数学表现不佳的儿童，例如有发展性计算障碍风险的儿童。

为填补这一研究空白，我们招募了来自新加坡的数学低进步（LP）学习者。这些学习者经过国家数学测试筛查，具体来说，使用的是教育部（MOE）的早期数学能力指标（ENI）；该指标将学生分为 ENI 0、1、2 或 3 组，其中 ENI 0 组最弱，ENI 3 组最强。我们借此考察数学焦虑与数学表现之间的关系。同时，作为一个多族群国家，我们还考察了数学焦虑方面的族群差异（华人 VS 马来人 VS 印度人 VS 其他族群）；在亚洲教育体系的背景下，这一问题仍未得到充分研究。鉴于有关性别差异的结论存在争议（Szczygiel，2020；Van Mier，2019），我们也将性别纳入人口统计学特征。

文献综述

数学焦虑：人口统计学特征的函数

对典型发育儿童的研究发现，数学焦虑的影响因人口统计学特征（如性别和族裔）而异。尽管针对幼儿中典型发育的数学学习者，探讨人口统计学特征与数学焦虑差异的研究有限（Szczygiel，2020年；Van Mier，2019年），但 Szczygiel（2020年）发现，在小学生简式数学焦虑量表（mAMAS-E，Szczygieł，2019年）的测试维度和总维度上，女孩的数学焦虑均高于男孩。然而，研究并未发现二年级学生在数学焦虑的学习维度上存在性别差异（Szczygiel，2020年）；而 Van Mier（2019年）发现，只有女孩表现出显著的数学焦虑，且这种焦虑对数学表现产生负向调节作用。这些不一致的结论促使我们在研究参与者特征中考察性别差异，以及数学焦虑的影响。与此同时，关于数学焦虑对数学学习困难（MLD）学习者的影响，现有文献仍然寥寥；正如 Dowker 所指出的，这些学习者更容易受到焦虑所带来的负面体验的影响

（2005年）和 Krinzinger（2009年）所指出的那样。尽管有一项研究考察了有无数学学习困难（MLD）儿童的数学焦虑，但并未比较有数学学习困难儿童中的性别差异，这可能是由于样本量较小（男孩20人，女孩9人；Mutlu，2019年）。族裔是另一项重要的人口统计学特征，但其与数学焦虑之间的关系仍缺乏研究（Hart 和 Ganley，2019年；Ahmed，2018年）。在一项近期针对成年人的研究中，Hart 和 Ganley（2019年）报告称，西班牙裔、黑人和白人成年人之间不存在族裔群体差异。然而，针对青少年的研究发现，西班牙裔青少年的数学焦虑水平高于白人同龄人，而黑人青少年与白人青少年则无差异（Cheema 和 Sheridan，2015年）；Ahmed（2018年）则发现，在为期六年的纵向观察中，与白人同龄人相比，西班牙裔和黑人青少年的数学焦虑轨迹始终较高。现有研究有限，且仅考察了西班牙裔、黑人和白人群体；此前没有研究探讨亚洲背景下不同族裔群体（如马来人、印度人、华人及其他群体）的数学焦虑差异，尤其是在幼儿中。

工作记忆：数学焦虑与数学表现的中介变量

研究发现，数学焦虑 始终与较差的数学表现相关（Ashcraft, 2002; Dowker 等，2016; Hembree, 1990; Namkung 等，2019; Zhang 等，2019）。纵向研究表明，数学焦虑从幼年时期起便已存在，并且会持续稳定到成年期（Cargnelutti 等，2017; Krinzinger 等，2009; Sorvo 等，2019; Vukovic 等，2013）。然而，数学焦虑如何对数学表现产生负面影响，仍存在争议。工作记忆是最受关注的、可能解释这种负相关关系的因素之一（Justicia-Galiano 等，2017）。工作记忆是一种容量有限的心理工作空间，负责存储信息并同时对其进行操作（Baddeley 和 Hitch, 1974;

Justicia-Galiano 等，2017）。文献表明，工作记忆能力参与数学相关任务（综述见 Raghubar、Barnes 和 Hecht, 2010）。例如，在简单的一位数加法任务中，幼儿必须记住所有加数和运算符，然后同时对它们进行操作。根据注意控制理论（Eysenck 等，2007），与数学相关任务有关的担忧想法和感受会降低存储容量，并妨碍在有限的工作记忆工作空间内进行信息处理。一项针对 8–12 岁儿童的研究通过多重中介分析表明，作为中介变量的工作记忆有助于解释数学焦虑与数学表现之间的关系（Justicia-Galiano 等，2017）。另一项针对 5–8 岁儿童的研究发现，只有工作记忆水平较高的儿童中，数学焦虑与数学表现之间才存在负相关。其可能原因是，工作记忆水平较高的儿童往往采用需要大量工作记忆资源的策略（Ramirez 等, 2013）。神经影像学研究的发现也为工作记忆如何在数学焦虑与数学表现的负相关关系中受到干扰，提供了合理证据。一项针对数学焦虑儿童的神经影像学研究中，Young、Wu 和 Menon（2012）发现，数学焦虑较高的儿童在产生负面情绪的杏仁核中表现出更强的神经反应，而在负责工作记忆的背外侧前额叶皮层中的反应则较弱。为了应对由此引发的数学焦虑，个体不得不将注意资源从参与目标导向加工的中央执行网络中分配出去，从而减少可供工作记忆使用的工作空间，使其无法高效处理数学任务（Pletzer 等，2015; Menon 和 Uddin, 2010）。这可能表明，数学焦虑的产生会干扰处理数学任务所需的工作记忆。

计算障碍：数学焦虑与工作记忆中的调节变量

根据对相关文献的总结，我们知道，数学焦虑可能会干扰典型发育学习者的工作记忆。但这种干扰是否会在数学学业进步缓慢的学习者以及有发展性计算障碍（DD）风险的学习者中加剧？回顾与数学焦虑和工作记忆相关的文献，首先，有研究报告称 数学焦虑通常与数学表现不佳有关，例如数学学习困难，甚至发展性计算障碍。一项大规模研究调查了1757名中小学生，发现与数学表现正常的儿童相比，患有DD的儿童出现高水平数学焦虑的可能性是前者的两倍（Devine 等人，2018年）。其次，患有DD的儿童也存在工作记忆障碍，尤其是视空间工作记忆障碍。行为研究发现，与一般智力、阅读及其他认知测量结果相匹配的典型发育儿童（Ashkenazi，2013年）或有阅读困难的儿童（Lee、Howard 和 Saez；2006年）相比，患有DD的儿童视空间工作记忆受到损害；相关综述见 Menon（2016年）。一项神经影像学研究发现，与典型发育儿童相比，患有DD的儿童在功能性磁共振成像（fMRI）扫描仪中完成空间工作记忆任务时，右侧顶内沟（IPS）的神经激活较弱；在扫描仪外，其工作记忆能力也较差。此外，右侧IPS的活动与工作记忆任务表现之间也存在显著相关性（Rotzer，2009年）。第三，数学焦虑对工作记忆的干扰作用可能表明二者之间存在负相关关系。Ashcraft 和 Kirk（2001年）的证据表明，数学焦虑程度高的成年人在工作记忆任务中的表现不如数学焦虑程度低或中等的成年人。儿童研究也发现了类似结果。Mammarella 等人（2015年）考察了六至八年级儿童的数学焦虑与工作记忆之间的关系，发现与没有数学焦虑的儿童相比，有数学焦虑的儿童在工作记忆任务中的表现尤其差。综上所述，

考虑到典型发育、学业进步缓慢或患有DD的儿童中，数学焦虑与工作记忆之间的关系十分复杂，我们提出一个合理的假设：DD可能会调节数学焦虑与工作记忆之间的关系，使得患有计算障碍的儿童表现出更强的数学焦虑与工作记忆之间的负相关。为此，本文报告了我们围绕以下几个方面开展的研究：

RQ1）数学焦虑是否会因人口统计学特征（特别是性别和族裔）而存在显著差异?

RQ2）在控制人口统计学特征和工作记忆等相关协变量后，数学焦虑是否能显著解释数学表现的变异?

RQ3）数学焦虑水平是否会因工作记忆容量不同而有所差异?

RQ4）计算障碍风险状态是否会调节数学焦虑与工作记忆容量之间的交互效应?

方法

参与者

参与者（$N = 151$）为来自新加坡17所小学的一年级学生。他们经 ENI 评估被认定为数学成绩较低，并参与了一项规模更大的数学研究（Jamaludin & Hung, 2019）。参与者包括93名男性和58名女性，其中49.67%为马来族裔，39.07%为华人，6.62%为印度人。参与者年龄介于74.78至100.81个月之间，平均年龄为82.34个月（$SD = 4.27$）。研究登记时，参与者均未报告有学习障碍或心理诊断。

进入一年级时，参与者已完成全国数学筛查测验——早期数学能力指标（ENI），并根据得分被分为四个不同等级（即 ENI0、1、2 和

3）。通常，被判定为 ENI 得分为 2 及以下的儿童需要参加为期两年的抽离式数学课程，称为数学学习支持（LSM）；不过，根据教师的推荐，部分 ENI 3 儿童也可能被安排参加 LSM 课程。本研究的所有儿童参与者均来自 LSM 课程，其中包括 26 名被判定为 ENI0（可能的最低等级）、61 名 ENI1、35 名 ENI2 和 29 名 ENI3 儿童。

测量工具

数学焦虑

数学焦虑采用早期数学焦虑量表（SEMA；Wu 等人，2012年）进行测量。SEMA 是一份包含 20 个题目的问卷，要求儿童在面对与数学相关的问题或情境时，根据五点李克特量表报告自己的紧张程度。该问卷分为两个部分，前 10 个题目评估与数值加工相关的焦虑（例如：“这样对吗？9+7=18”），后 10 个题目评估与数学相关的情境（例如：“你即将参加数学考试”）所引发的焦虑。总分范围为 0 至 80 分，分数越高表示数学焦虑程度越高。

工作记忆

本研究使用韦氏儿童智力量表第五版 (WISC-V；Wechsler 等人，2014年)中的数字广度和图片广度分测验来测量工作记忆。数字广度包含三项任务，要求儿童准确复述测试者读出的数字：按原顺序（顺背）、按相反顺序（倒背）以及按特定顺序（顺序）。图片广度则要求儿童回忆所呈现的一组图片的顺序。将各分测验的原始分数相加并进行年龄量表化，以得出工作记忆指数（WMI）。

言语能力

鉴于数学与言语能力之间存在高度相关性（Henry、Baltes 和 Nistor，2014年），本研究将言语能力作为协变量进行测量。它通过韦氏儿童智力量表第五版 (WISC-V; Wechsler 等人，2014年)中的相似性和词汇分测验进行测量。相似性分测验要求儿童描述两个词语的相似之处，而词汇分测验要求儿童解释词语的含义。将各分测验的原始分数相加并进行年龄量表化，以得出言语理解指数（VCI）。

数学表现

数学表现使用韦氏个体成就测验第三版 （WIAT-III；Psychological Corporation，2009年）的数学综合分数进行测量，该测验由数感和数学问题解决分测验组成。数感分测验是一项纸笔测验，用于测量基础数学技能和基础数学运算能力，例如整数、几何和代数。数学问题解决分测验要求儿童通过口头回答或指出答案，回答用于测量其对基础数学概念、日常应用、几何和代数的理解能力的问题。两项测验的原始分数相加后进行年龄量表化，以得出数学综合分数。

计算障碍筛查量表

作为一项更大规模研究的一部分，参与者接受了计算障碍筛查量表（Butterworth，2003）筛查，该量表包含四项任务：简单反应任务、点数枚举、数字Stroop任务和加法测验。这些任务均通过计算机完成，并使用笔记本电脑进行测试。儿童佩戴耳机，根据屏幕上显示的说明操作，并按键盘左侧或右侧的按键对刺激作出反应。点数枚举、数字Stroop任务和加法测验的原始分数经过标准化，并按1至9的范围进行排名。根据这些分数，系统会生成一份可能诊断报告，以表明该

儿童是否根据英国常模数据存在计算障碍风险。重要的是，我们仅在各自的研究方向中标记计算障碍风险状态，并未作出正式的数学学习障碍诊断。

程序

所有参与者均属于一项规模更大的数学干预研究队列 iMAGINE（Jamaludin & Hung, 2019; NIE教育研究办公室, 2022）。该研究旨在了解被认定存在数学学习困难的儿童在数学方面的神经发育基础。本研究使用的所有测量工具均在进行任何干预之前施测。SEMA 和计算障碍筛查量表先于 WISC-V 和 WIAT- III 施测。所有测量工具均由受过培训的研究助理在儿童所在学校一对一施测。研究助理会为所有参与者朗读并解释题目，以确保存在阅读困难的参与者不会因此处于不利地位。

数据分析程序

使用 SPSS 23 版进行缺失数据分析，以检验完全随机缺失假设（MCAR；Little, 1988年）。Little 的 MCAR 检验结果表明，无法拒绝完全随机缺失假设，$\chi^2(50) = 53.98$，$p = .325$，这说明缺失数据属于完全随机缺失。使用 Amelia-II 软件包 1.7.6 版进行期望最大化插补，以处理缺失数据（Honaker 等，2019年）。采用马氏距离进行多变量离群值分析，发现一个多变量离群值。纳入和排除该离群值进行分析并未改变研究结果，因此分析中保留了该离群值。插补后的数据描述性统计结果如表1所示。所有假设检验均使用 R 4.0.2 版进行（R 核心团队，2020年）。

研究结果

数学焦虑与人口统计学特征

研究问题1）不同人口统计学特征（具体而言，性别和族裔）之间的数学焦虑是否存在显著差异?

采用 II 型方差分析，探究使用 SEMA 测量的数学焦虑是否因性别、族裔、ENI 分数和疑似计算障碍状态（计算障碍风险）而异。II 型方差分析用于控制族系 α 错误，并且已证实其适用于组间样本量不平衡的情况（Langsrud，2003）。结果显示，数学焦虑在各项人口统计学特征之间没有显著差异，见表2。采用 Tukey HSD 检验进行事后检验发现，被认定为 ENI3 的儿童（M = 16.1，SD = 14.7）的数学焦虑均值显著不同于被认定为 ENI0 的儿童（M = 29.8，SD = 17.6），这表明，在控制族系 α 错误后，根据 ENI 测验（ENI 3）被认定为数学表现较好的儿童，其数学焦虑低于 ENI 测验中表现最差的儿童（ENI 0）。

数学焦虑与数学表现

研究问题 2）在控制人口统计学特征、工作记忆等相关协变量后，数学焦虑是否能解释预测数学表现时的显著方差?

为检验数学焦虑对数学表现影响的假设，我们进行了分层线性回归：在区块1中纳入性别、族裔、WISC-V 的言语理解指数（VCI）、ENI 等级和计算障碍风险状态作为协变量，随后在区块2中纳入数学焦虑和 WISC-V 的工作记忆指数（WM），详见表3。结果显示，加入数学焦虑显著改善了模型 $\Delta R^2 = 0.09, \Delta F(1, 139) = 5.38$, $p = .022$。区块2解释了总方差的40.73%，$_{\text{调整后}}R^2 = 0.36$, $F(11,$

139) = 8.68, p < .001。数学焦虑显著预测数学表现，b = -0.011, t(139)= -2.32, p = 0.022, 偏η^2 = 0.04；数学焦虑越低，数学表现越好。

在协变量中，使用 WISC-V 的 VCI 测得的语言能力显著预测数学表现：言语理解指数越高，数学表现越好，b = 0.22，t(139) = 4.19，p < 0.001，$_{partial}\eta^2$ = 0.23。疑似计算障碍状态显著预测表现：疑似有计算障碍者的数学表现显著低于非疑似者，b = -0.62，t(139) = - 3.44，p = 0.001，$_{partial}\eta^2$ = 0.1。工作记忆也显著预测数学表现：工作记忆越好，数学表现越好，b = 0.2，t(139) = 3.73，p < .001，$_{partial}\eta^2$ = 0.04。

数学焦虑与工作记忆

RQ3）数学焦虑水平是否会因工作记忆容量而异?

为检验数学焦虑与工作记忆对数学表现的交互效应假设，我们在区块2模型中加入了交互效应。结果表明，加入交互效应并未显著改善模型，ΔR^2 = 0.001，ΔF(1, 138) = 0.13，p = .720。数学焦虑与工作记忆之间不存在显著交互效应。

计算障碍风险状态的调节效应

研究问题4）计算障碍风险状态是否会调节数学焦虑与工作记忆容量之间的交互效应?

为检验疑似计算障碍状态是否会调节数学焦虑与工作记忆对数学表现的交互效应，我们将交互

效应纳入区块3模型。结果显示，加入交互效应并未显著改善模型， $\Delta R^2 = 0.021$, $\Delta F(3, 135) = 1.64$, $p = .180$；这表明，计算障碍风险状态对数学焦虑与工作记忆之间交互效应的调节作用并不显著。然而，进一步考察回归系数发现，与未被疑似患有计算障碍者相比，被疑似患有计算障碍者的数学焦虑、工作记忆与计算障碍疑似状态之间存在显著的三重交互效应， $b = 0.014$, $t(135) = 2.04$, $p = 0.044$。

使用线性趋势的估计边际均值分析三重交互作用（Lenth等人，2020年）发现，除常模组中工作记忆处于平均水平的儿童， $b = -0.12$， $t(135) = -2.07$， $p = 0.04$，以及工作记忆水平较高的儿童， $b = -0.22$， $t(135) = -2.78$， $p = 0.01$外，简单斜率与零均无显著差异。这表明，除常模组中工作记忆处于平均和较高水平的儿童外，随着数学焦虑增加，不同工作记忆水平儿童的数学表现均无显著变化；而这两组儿童的数学表现则随着数学焦虑增加而显著下降，见图1。

进一步查看三重交互作用的交互作用图发现，随着数学焦虑增加，疑似计算障碍儿童之外的各组儿童数学表现均呈负向斜率；疑似计算障碍儿童的斜率为 $b = 0.09$， $t(135) = 0.71$， $p = 0.48$，但该斜率与零的差异不显著。对疑似计算障碍儿童与常模组中工作记忆水平较高的儿童进行两两比较，并控制所有族错误率后，结果达到显著水平， $b = -0.31$， $t(135) = -2.07$， $p = 0.04$，表明两组斜率存在显著差异。其他两两比较均未达到显著水平。

讨论

本研究考察了一组特定儿童的数学焦虑情况，这些儿童被教师认定为存在数学学习困难（MLD）。先前研究表明，数学焦虑

在幼儿中已经存在，可能受到各种人口统计学特征的影响（Zhang 等，2019），并且对工作记忆较强的儿童的影响大于对工作记忆较弱的儿童（Namkung 等，2019；Ramirez 等，2013；Vukovic 等，2013）。

本研究发现，除数学能力极低（ENI 0）和数学能力符合年龄水平（ENI 3）的儿童外，数学焦虑在不同人口统计学特征群体间没有显著差异。我们的研究结果还发现，在有数学学习困难的 LP 儿童样本中，数学焦虑与数学表现之间存在类似的负相关关系。我们也发现了数学焦虑与工作记忆之间的类似关系：工作记忆处于平均或较高水平的儿童，在数学焦虑程度较高时，数学表现较差，但这一点仅适用于未被怀疑患有计算障碍的儿童。这支持了认知容量耗竭理论，即工作记忆能力较强者的认知容量可能会被担忧占满，进而影响数学表现（Beilock 和 Carr，2005；Kellogg 等，1999；Mattarella- Micke 等，2011）。

数学焦虑的人口统计学特征

研究结果显示，在被认定为数学学习困难的儿童中，除数学能力最弱（ENI 0）的儿童外，不同人口统计学特征的儿童在数学焦虑方面并无显著差异；与 ENI 测验中数学能力符合年龄水平的学生（ENI 3）相比，ENI 0 儿童的平均焦虑水平更高。本研究的样本情况较为特殊：最初预期只有 ENI 得分为 2 及以下的儿童会纳入样本。与年级教师讨论后发现，尽管国家指南规定将 ENI 2 及以下作为判定数学学习困难的指标，但根据教师的建议，一些被认定为 ENI 3 的儿童也被抽出课堂，参加数学干预项目。正如教师所分享的，这可能是出于新加坡小学数学课堂中常见的各种原因，例如语言能力较弱，可能妨碍他们

在课堂上遵循数学教学指令。进一步考察 ENI 3 儿童的言语推理指数发现，他们的平均表现低于总体平均值（*M* = 75.52，*SD* =13.11），这表明这些儿童可能并没有数学学习困难，而是与典型发育儿童相比面临语言方面的问题。这反映出儿童被认定为数学学习困难的情况十分复杂，而语言能力方面的困难可能是其中一个影响因素。

数学学习困难的复杂性

本研究结果支持数学焦虑与数学表现之间存在负向关联：即使控制了儿童的语言能力、工作记忆、性别、族裔、由 ENI 分数测得的数学能力，以及已被证明会影响数学表现的疑似计算障碍状态，较高的数学焦虑仍预示着较差的数学表现（Geary 等人，2009年；Vukovic 等，2013）。这一发现进一步丰富了相关研究成果；这些研究发现，数学焦虑会对幼儿产生不利影响，尤其是对被认定有数学学习困难的儿童（Harari 等人，2013年；Sorvo 等人，2019年；Vukovic 等，2013）。

此外，本研究还发现，在各项协变量中，语言能力、工作记忆和疑似计算障碍状态能够预测数学表现。这与其他关于语言（McClelland 等人，2007年；Smedt 等人，2010年）和工作记忆（Bull 等人，2008年；Peng 等人，2016年）对数学表现所起作用的研究一致。

本研究还发现，与根据《计算障碍筛查量表》（Butterworth，2003）判定为非疑似计算障碍的儿童相比，处于计算障碍风险状态的儿童WIAT-III数学综合分数更低。该筛查量表通过比较儿童与同龄儿童在核心数值任务（即点数枚举、数量大小比较和数学知识）上的表现，识别表现极差的儿童，以判断其是否可能患有发展性计算障碍。这些任务已被证明是数学能力的基础，结果表明，这些儿童的基础数学技能很差，且有发展性计算障碍的风险（Gray & Reeve，2016；

Reeve 等人，2012；Vetter 等人，2011）。总体而言，这些发现表明，数学学习困难的成因复杂，可能受到语言、工作记忆、核心数能力和情绪因素等多种变量的影响。

与 Vukovic 等，2013 和 Ramirez 等人（2013年）的研究类似，本研究的发现也表明，数学焦虑对工作记忆较强的儿童影响尤为显著。不过，这种关系仅存在于未被认为疑似患有计算障碍的儿童中。这引出了一个重要问题：为什么较高的数学焦虑对工作记忆容量较高、但不属于计算障碍风险状态的儿童，尤其具有更大的负面影响?

一种可能的解释可基于认知资源耗竭理论和较差的数学策略运用（Ramirez 等人，2016年、2018年；Vukovic 等，2013）。疑似患有计算障碍的儿童可能核心数感技能较弱，即计数和数量大小比较能力不足，因而无法有效运用数学问题解决策略。对于被认定为具有计算障碍风险的儿童，无论工作记忆容量处于何种水平，其数学表现始终较低，这也印证了这一点。因此，对于已经面临数感技能不足的儿童来说，较高的数学焦虑可能不会进一步降低其数学表现。这与 Ramirez 等人（2016年）的研究结果一致：数学表现较差可能是因为他们回避使用高级数学问题解决策略，转而依赖较简单的策略。

局限性与未来方向

我们讨论了本研究的局限性，这些局限也为该领域的进一步研究提供了机会。首先，尽管计算障碍筛查量表有助于识别核心数感技能较弱的儿童，但本研究仅纳入了已被认定为数学学习低进展的儿童。目前尚不清楚，未被认定为数学学习困难的儿童与疑似计算障碍状态之间是否存在调节效应。探究这一问题或有助于更好地理解数学焦虑如何影响非数学学习困难儿童、数学学习困难儿童，以及核心数感技能较弱的数学学习困难儿童的工作记忆（

核心数感技能较弱的数学学习困难儿童（发展性计算障碍）。其次，本研究未将语言能力纳入潜在调节变量。未来研究可以探讨其他模型，以解释数学学习困难的复杂特性；其间，情感、认知和语言能力之间存在独特的相互作用。

本研究发现，对于未被疑似患有计算障碍的幼儿而言，数学焦虑对工作记忆水平处于平均和较高水平的儿童数学表现产生了不同影响，这凸显了幼儿数学学习困难的复杂性。本研究样本中被认定为数学学习困难的儿童表现出多种情感与认知困难，包括数感、数学焦虑和认知技能方面的困难。应开展多维度的以人为中心的分析，以识别数学学习困难的各种亚型，从而更好地理解并帮助这些容易被忽视的弱势儿童；在一个表现悖论性地较高的教育体系中，他们尤其容易被忽略（Yeo, Tan, Jamaludin, 2022）。目标是在他们的教育历程早期提供更有针对性、更有效的数学支持体系，以缓解随着时间推移可能不断累积的数学学习困难。

致谢

本研究由新加坡国家研究基金会（NRF）通过学习科学计划（NRF2016-SOL002-003）资助。

表格和图

表1。描述性统计

统计量（N = 151）	Mean	标准差	Min	Max
连续变量				
WIAT-III 综合分数得分	87.68	12.07	60	120
WISC-V工作记忆指数	86.12	16.16	9	125
WISC-V言语理解指数	74.18	16.52	35	108
数学焦虑	23.71	17.32	0	80
Age	82.33	4.27	74.78	100.81
频率				
性别	男性：93	女性：58		
族裔	马来人：75	华人：59 印度人：10		其他：7
ENI	ENI0：26	ENI1：61	ENI2：35	ENI3：29
计算障碍风险	否：104	是：47		

表2。

人口统计学特征与数学焦虑关系的方差分析结果

	平方和	df	*F*值
性别	4	1	1.27
族裔	5	3	0.54
ENI	21	3	2.44
疑似计算障碍	6	1	2.18
残差	407	142	

表3以 *WIAT-III*数学综合分数为

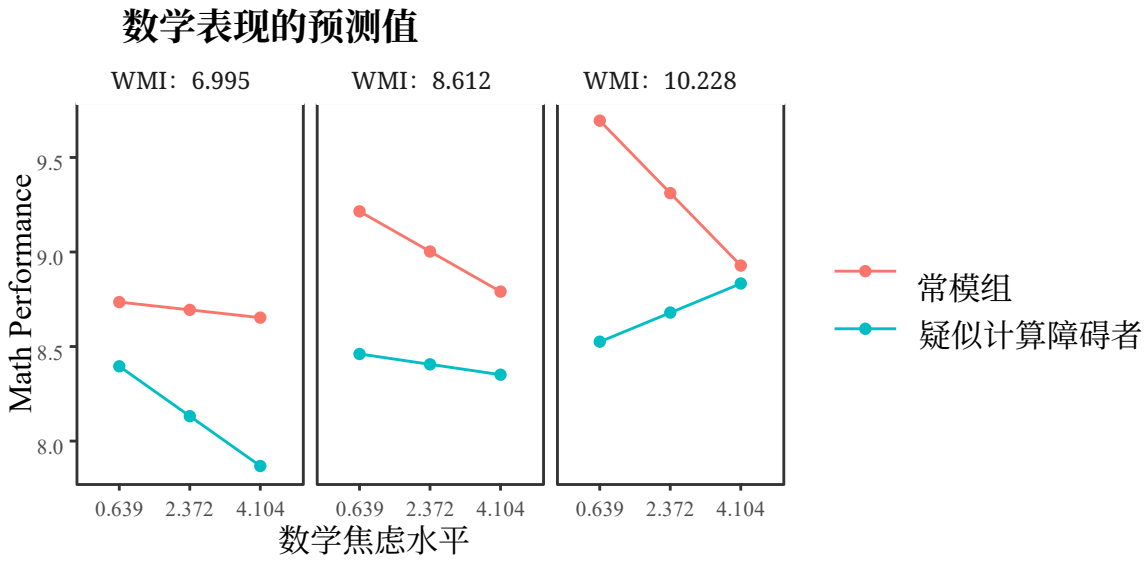
因变量

	区块1	区块2	区块3	区块4
(截距)	6.609 (0.435) ***	5.678 (0.559) ***	5.424 (0.904) ***	4.495 (1.097) ***
男性（参照组：女性）	0.079 (0.179)	0.145 (0.172)	0.151 (0.173)	0.130 (0.172)
华人（参照组马来人）	-0.126 (0.190)	-0.108 (0.179)	-0.116 (0.181)	-0.047 (0.182)
印度人	0.253 (0.355)	0.114 (0.335)	0.099 (0.339)	0.066 (0.338)
其他	0.152 (0.430)	0.311 (0.411)	0.306 (0.412)	0.293 (0.410)
WISC-V言语理解指数	0.281 (0.054) ***	0.221 (0.053) ***	0.221 (0.053) ***	0.223 (0.054) ***
ENI1	0.269 (0.252)	0.126 (0.239)	0.139 (0.242)	0.165 (0.244)
ENI2	0.162 (0.290)	-0.086 (0.278)	-0.074 (0.281)	-0.076 (0.283)
ENI3	0.651 (0.303) *	0.306 (0.295)	0.323 (0.300)	0.350 (0.302)
计算障碍（DYS）	-0.715 (0.191) ***	-0.623 (0.181) ***	-0.627 (0.182) ***	2.143 (1.851)
数学焦虑（MA）		-0.011 (0.005) *	-0.001 (0.028)	0.040 (0.038)
WISC-V工作记忆指数		0.203 (0.055) ***	0.231 (0.095) *	0.336 (0.113) **
MA与WM的交互作用			-0.001 (0.003)	-0.006 (0.004)
MA与DYS的交互作用				-0.108 (0.058)
WM与DYS的交互作用				-0.343 (0.208)
MA、WM与DYS的交互作用				0.014 (0.007) *
R^2	0.384	0.407	0.408	0.429
调整后 R^2	0.340	0.360	0.356	0.365
观测值数量	151	151	151	151

图1。

疑似计算障碍（计算障碍风险）与数学焦虑之间的三重交互效应

不同 *WISC-V*工作记忆指数水平下的数学表现



参考文献

Ahmed, W.（2018年）。青春期数学焦虑的发展轨迹：与STEM职业选择的关联。《青春期杂志》，67，158-166。

Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). 工作记忆、数学焦虑与表现之间的关系。《实验心理学杂志：综合》，130，224–237。

Ashkenazi, S., Rosenberg-Lee, M., Metcalfe, A. W., Swigart, A. G., & Menon, V. (2013). 视空间工作记忆是算术认知发展中领域一般性易感性的重要来源。《神经心理学》，51(11)，2305-2317。

Ashcraft, M. H. (2002). 数学焦虑：个人、教育和认知后果。《心理科学新进展》，*11*(5)，181–185。https://doi.org/10.1111/1467- 8721.00196

Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). 工作记忆、数学焦虑与表现之间的关系。《实验心理学杂志：综合》，*130*(2)，224–237。https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.224

Baddeley, A. D.,&Hitch, G.（1974）。工作记忆。《学习与动机心理学》，8，47–89。

Bynner, J.（2004）。读写能力、数感与就业能力：英国出生队列研究的证据。《读写与计算研究》，13(1)，31-48。

Beilock, S. L., & Carr, T. H.（2005）。高能力者何以失手：数学中的工作记忆与“压力下失常”。《心理科学》，*16*(2)，101–105。
https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00789.x

Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A.（2008）。学龄前儿童的短时记忆、工作记忆和执行功能：数学的纵向预测因素

7岁时的成就。发展神经心理学，*33*(3)，205–228。
https://doi.org/10.1080/87565640801982312

Butterworth, B. (2003). 计算障碍筛查量表 [数据集]. 美国心理学会。
https://doi.org/10.1037/t05204-000

Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szücs, D. (2016). 鸡生蛋还是蛋生鸡？数学焦虑与数学表现之间关系的方向。《心理学前沿》，*6*。
https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01987

Cargnelutti, E., Tomasetto, C., & Passolunghi, M. C. (2017). 焦虑与年幼学生的数学表现有何关联？对二年级至三年级儿童进行的纵向研究。认知与情绪，*31*(4)，755–764。
https://doi.org/10.1080/02699931.2016.1147421

Chang, H., & Beilock, S. L. (2016). 数学焦虑与数学表现之间的联系及其与个体和环境因素的关系：对当前行为科学和心理生理学研究的综述。行为科学当前观点，*10*，33–38。
https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.011

Cheema, J. R., & Sheridan, K. (2015). 家庭作业用时、数学焦虑与数学成就：来自美国样本的证据。《教育研究议题》，25(3), 246-259.

Devine, A., Hill, F., Carey, E., & Szűcs, D. (2018年). 认知和情绪数学问题在很大程度上彼此分离：发展性计算障碍和数学焦虑的患病率。《教育心理学杂志》，110(3), 431.

Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y.（2016年）。数学焦虑：60年来我们学到了什么？《心理学前沿》，*7*。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00508

Dowker, A.（2005年）。算术中的个体差异：对心理学、神经科学和教育的启示。Psychology Press。

Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007年). 焦虑与认知表现：注意控制理论。《情绪》，7, 336–353. https://doi.org/10.1037/1528- 3542.7.2.336

Foley, A. E., Herts, J. B., Borgonovi, F., Guerriero, S., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2017年). 数学焦虑与表现的关联：一种全球性现象。《心理科学新进展》, *26*(1), 52–58. https://doi.org/10.1177/0963721416672463

Geary, D. C., Bailey, D. H., Littlefield, A., Wood, P., Hoard, M. K., & Nugent, L. (2009年). 数学学习障碍的一年级预测因素：潜在类别轨迹分析。《认知发展》, *24*(4), 411–429. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.10.001

Gray, S. A., & Reeve, R. A.（2016年）。学龄前儿童数学能力特征的数字特异性与一般认知标记。《实验儿童心理学杂志》，*147*，1–21。https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.02.004

Hart, S. A., & Ganley, C. M.（2019年）。成年人数学焦虑的性质：患病率及相关因素。《数值认知杂志》，5(2)，122。

Henry, D. L., Baltes, B., & Nistor, N.（2014年）。考察数学成绩与英语水平之间的关系。《教育研究与实践杂志》，4(1)，2。

Harari, R. R., Vukovic, R. K., & Bailey, S. P.（2013年）。幼儿数学焦虑：一项探索性研究。《实验教育杂志》，*81*(4)，538–555。https://doi.org/10.1080/00220973.2012.727888

Hembree, R.（1990年）。数学焦虑的性质、影响与缓解。《数学教育研究杂志》，*21*(1)，33–46。JSTOR。https://doi.org/10.2307/749455

Honaker, J.、King, G. 和 Blackwell, M.（2019年）。*Amelia*：缺失数据处理程序（1.7.6）[计算机软件]。https://CRAN.R-project.org/package=Amelia

Jamaludin, A., & Hung, D.（2019）。面向学习进度缓慢的学习者数学认知发展的神经科学指导游戏式干预的转化规范：一种学习科学方法。OER Knowledge Bites, 10, 6-7。

Kellogg, J. S., Hopko, D. R., & Ashcraft, M. H.（1999）。时间压力对算术表现的影响。《焦虑障碍杂志》，*13*(6), 591–600。https://doi.org/10.1016/S0887-6185(99)00025-0

Krinzinger, H., Kaufmann, L., & Willmes, K.（2009）。小学低年级阶段的数学焦虑与数学能力。《心理教育评估杂志》，*27*(3), 206–225。https://doi.org/10.1177/0734282908330583

Lee Swanson, H., Howard, C. B., & Saez, L.（2006）。工作记忆的不同组成部分是否构成不同阅读障碍亚组的基础？《学习障碍杂志》，39(3), 252-269。

Lusardi, A., & Mitchell, O. S.（2011年）。美国的金融素养与退休规划（No. 0898–2937）。美国国家经济研究局。

Langsrud, Ø.（2003）。非平衡数据的方差分析：使用II型平方和，而非III型平方和。《统计与计算》，*13*(2)，163–167。https://doi.org/10.1023/A:1023260610025

Lenth, R., Buerkner, P., Herve, M., Love, J., Riebl, H., & Singmann, H.（2020）。*emmeans*：估计边际均值，又称最小二乘均值（1.5.0） [计算机软件]。https://CRAN.R-project.org/package=emmeans

Little, R. J. A. (1988). 针对含缺失值的多变量数据的完全随机缺失检验。《美国统计学会杂志》，*83*(404), 1198–1202. JSTOR. https://doi.org/10.2307/2290157

Mammarella, I. C., Hill, F., Devine, A., Caviola, S., & Szűcs, D. (2015). 数学焦虑与发展性计算障碍：一项关于工作记忆过程的研究。临床与实验神经心理学杂志，37(8), 878-887。

Menon, V.（2016）。儿童数学学习中的工作记忆及其在计算障碍中的受损。《行为科学当前观点》，10，125-132。

Menon V，Uddin LQ。显著性、切换、注意与控制：岛叶功能的网络模型。《脑结构与功能》。2010；214(5–6)，655–667。https://doi.org/10.1007/s00429- 010-0262-0 PMID: 20512370

Mutlu, Y.（2019）。有无数学学习困难的学生的数学焦虑。《国际基础教育电子期刊》，11(5)，471-475。

Mattarella-Micke, A., Mateo, J., Kozak, M. N., Foster, K., & Beilock, S. L.（2011）。崩溃还是发挥出色？唾液皮质醇与数学表现之间的关系取决于工作记忆和数学焦虑的个体差异。《情绪》，*11*(4)，1000–1005。https://doi.org/10.1037/a0023224

McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J.（2007年）。行为调节与学龄前儿童的读写能力、词汇和数学技能之间的联系。发展心理学，*43*(4)，947–959。https://doi.org/10.1037/0012- 1649.43.4.947

Namkung, J. M., Peng, P., & Lin, X.（2019年）。学龄学生数学焦虑与数学表现之间的关系：元分析。教育研究评论，*89*(3)，459–496。https://doi.org/10.3102/0034654319843494

Ng, J. D., Liew, E., Menon, L., Ling, L. P., & Wang, A. (2007年). 数学学习支持（LSM）：采用四管齐下的干预方法。重塑教学法：文化、知识与理解会议论文集 [研讨会]。新加坡。

NIE教育研究办公室 (2022). iMAGINE：神经启发式教育中的数学游戏干预。于2022年1月15日检索自 iMAGINE：神经启发式教育中的数学游戏干预 | SingTeach | 教师教育研究| 触手可及的研究（nie.edu.sg）

经济合作与发展组织。（2013年）。《国际学生评估项目2012年结果：通过公平实现卓越：让每位学生都有机会取得成功》（第二卷）。法国巴黎：经合组织出版社。

Peng, P.、Namkung, J.、Barnes, M. 和 Sun, C.（2016年）。数学与工作记忆的元分析：工作记忆领域、数学技能类型和样本特征的调节效应。《教育心理学杂志》，108(4), 455–473。https://doi.org/10.1037/edu0000079

Pletzer B、Kronbichler M、Nuerk HC、Kerschbaum HH。数学焦虑会降低数值任务诱发的默认模式网络去活化。《人类神经科学前沿》。2015年；9:202。https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00202 PMID: 25954179

Psychological Corporation。（2009年）。《韦氏个人成就测验第三版：韦氏个人成就测验》。Psychological Corp。

R 核心团队。（2020年）。R：用于统计计算的语言和环境（4.0.2） [R 统计计算基金会]。https://www.r-project.org/

Ramirez, G., Chang, H., Maloney, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2016年). 小学低年级数学焦虑与数学成就之间的关系：问题解决策略的作用。《实验儿童心理学杂志》，141，83–100。https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.07.014

Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2013年). 小学低年级的数学焦虑、工作记忆与数学成就。《认知与发展杂志》，14(2)，187–202。https://doi.org/10.1080/15248372.2012.664593

Ramirez, G., Shaw, S. T., & Maloney, E. A. (2018年). 数学焦虑：过往研究、有前景的干预措施及一种新的解释框架。《教育心理学家》，53(3), 145– 164. https://doi.org/10.1080/00461520.2018.1447384

Reeve, R., Reynolds, F., Humberstone, J., & Butterworth, B. (2012年). 核心数能力指标的稳定性与变化。《实验心理学杂志：综合》，141(4), 649–666. https://doi.org/10.1037/a0027520

Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). 数学焦虑评定量表：心理测量数据。《咨询心理学杂志》，19(6), 551–554. https://doi.org/10.1037/h0033456

Raghubar, K. P., Barnes, M. A., & Hecht, S. A. (2010年). 工作记忆与数学：发展、个体差异及认知方法综述。《学习与个体差异》，20(2), 110-122.

Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L.（2013年）。小学低年级学生的数学焦虑、工作记忆与数学成就。《认知与发展杂志》，14(2)，187-202。

Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & Von Aster, M.（2009年）。空间工作记忆的功能失调神经网络与发展性计算障碍。《神经心理学》，47(13), 2859-2865。

Rubinsten, O., & Henik, A. (2009年). 发展性计算障碍：异质性未必意味着存在不同机制。《认知科学趋势》，13(2), 92-99。

Schaeffer, M. W., Rozek, C. S., Berkowitz, T., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2018年). 剥离父母数学焦虑与儿童数学成就之间的关联：数学应用程序干预的长期影响。《实验心理学杂志：综合》，147(12), 1782–1790。https://doi.org/10.1037/xge0000490

Szczygieł, M.（2019）。如何测量幼儿的数学焦虑？小学生简式数学焦虑量表（mAMAS-E）修订版的心理测量学特性。《波兰心理学通报》，50(4)，303-315。https://doi.org/10.24425/ppb.2019.131003

Szczygiel, M.（2020）。小学低年级儿童的性别、一般焦虑、数学焦虑与数学成就。《教育研究议题》，30(3)，1126-1142。

Smedt, B. D., Taylor, J., Archibald, L., & Ansari, D.（2010）。语音加工与儿童算术技能的个体差异有何关联？《发展科学》，13(3)，508–520。https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00897.x

Sorvo, R., Koponen, T., Viholainen, H., Aro, T., Räikkönen, E., Peura, P., Tolvanen, A., & Aro, M.（2019）。数学焦虑的发展及其与小学生算术成绩的纵向关系。《学习与个体差异》，69，173–181。https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.12.005

Trezise, K., & Reeve, R. A.（2014年）。工作记忆、担忧与代数能力。《实验儿童心理学杂志》，121，120–136。https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.12.001

Van Mier, H. I., Schleepen, T. M., & Van den Berg, F. C.（2019年）。数学焦虑对二年级和四年级学生算术表现的影响存在性别差异。《心理学前沿》，2690。

Vetter, P.、Butterworth, B. 和 Bahrami, B.（2011）。注意瓶颈的一个候选机制：注意性计数过程中右侧颞顶联合区的集合大小特异性调节。《认知神经科学杂志》，23(3), 728–736。https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21472

Vukovic, R. K.、Kieffer, M. J.、Bailey, S. P. 和 Harari, R. R.（2013）。幼儿的数学焦虑：与数学表现的同期及纵向关联。《当代教育心理学》，38(1)，1–10。https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2012.09.001

Wechsler, D.、培生教育公司和 Psychological Corporation。（2014年）。WISC-V：韦氏儿童智力量表。NCS Pearson, Inc.：PsychCorp。

Wu, S. S.、Barth, M.、Amin, H.、Malcarne, V. 和 Menon, V.（2012年）。二、三年级学生的数学焦虑及其与数学成就的关系。《心理学前沿》，3。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00162

Yeo, W. T.、Tan, A. L. 和 Jamaludin, A.（2022）。“我感觉自己在救火”：教导年幼且教育资源匮乏的学生。《教学与教师教育》，113，103665。

Zhang, J.、Zhao, N. 和 Kong, Q. P.（2019年）。数学焦虑与数学表现之间的关系：一项元分析研究。《心理学前沿》，10。https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01613