

数学焦虑的理论基础、影响因素与干预

李 鲜, 杨一鸣, 王 超*

湖州师范学院教师教育学院, 浙江 湖州

收稿日期: 2023年8月25日; 录用日期: 2023年9月28日; 发布日期: 2023年10月9日

摘 要

数学焦虑是影响数学学习和数学成就的重要因素, 考察数学焦虑的作用机制对个体数学学习、学校数学教育和国家科技人才的培养具有重要作用。文章首先介绍数学焦虑的概念与理论基础, 然后从遗传、教师、父母三个方向阐明数学焦虑的影响因素, 最后介绍了当下数学焦虑的干预措施。未来研究可关注数学焦虑测量方式的科学评估; 进一步探索数学焦虑的作用机制; 构建数学焦虑的影响因素模型; 开发缓解数学焦虑的有效措施。

关键词

数学焦虑, 理论基础, 影响因素, 干预

Theoretical Basis, Influencing Factors and Interventions of Math Anxiety

Xian Li, Yiming Yang, Chao Wang*

School of Teacher Education, Huzhou University, Huzhou Zhejiang

Received: Aug. 25th, 2023; accepted: Sep. 28th, 2023; published: Oct. 9th, 2023

Abstract

Math anxiety is an important factor affecting mathematics learning and mathematics achievement, and examining the mechanisms of its effects plays an important role in individual mathematics learning, school mathematics education, and the cultivation of national scientific and technological talents. The article firstly introduces the concept and theoretical basis of math anxiety, and then reviews the influencing factors of math anxiety from the perspective of genetics, teacher and parents. Last, the main interventions of math anxiety were discussed. Future research can focus on

*通讯作者。

the scientific assessment of how math anxiety is measured; further explore the mechanism of math anxiety; construct a model of the influencing factors of math anxiety; and develop effective measures to alleviate math anxiety.

Keywords

Math Anxiety, Theoretical Basis, Influencing Factors, Intervention

Copyright © 2023 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. 数学焦虑的概念

20 世纪 50 年代, 研究者注意到“有大量害怕数学的人存在”(Dreger & Aiken, 1957)。早期研究认为数学焦虑是“一种紧张焦虑的感觉, 影响数学问题解决, 干扰与数字有关的日常生活和学术表现”(Richardson & Suinn, 1972)。也有研究认为数学焦虑是一种疾病, 是对数学产生的认知性恐惧情绪, 该观点夸大了数学焦虑的负面影响。21 世纪后, Ashcraft (2002)将数学焦虑定义为个体在从事与数学相关的工作时所产生的紧张、忧虑以及恐惧的情绪反应, 强调数学焦虑带来的不愉快体验(Beilock et al., 2010)。当前国外研究者倾向于选择 Ashcraft (2002)对数学焦虑的界定。

我国数学焦虑的相关研究起步较晚。陈英和与耿柳娜(2002)在国内首次提出数学焦虑的概念并完善, 认为“数学焦虑是个体在处理数字、使用数学概念、学习数学知识、解决数学问题或参加数学考试时所产生的不安、紧张、畏惧等焦虑状态, 是一种消极的负性情绪”(耿柳娜, 陈英和, 2005), 国内研究者多采用此定义。

2. 数学焦虑的理论基础

作为一种特殊的学科焦虑, 数学焦虑的研究起步较晚。数学焦虑的理论主要基于焦虑领域的早期研究。数学焦虑的主要理论包括:

2.1. 认知干扰理论

认知干扰使高焦虑个体在压力环境下表现较差(Sarason & Stoops, 1978)。Sarason (1984)提出认知干扰理论(Cognitive Interference Theory, CIT), 认为任务导向型个体在压力下, 能将注意转移到当前任务、忽视无用的忧虑, 对压力适应良好; 而焦虑个体在面对挑战时, 倾向于关注挑战失败后的后果, 同时焦虑个体以往的消极自我评价还会占据注意资源, 造成不良表现。因此, 认知干扰理论认为数学焦虑会通过认知干扰, 占据和削弱个体在面对与数学有关的情境和困难时的认知资源, 从而影响数学表现。认知干扰理论能解释数学焦虑如何通过认知影响个体的数学表现, 但无法解释在执行相同的数学任务时, 不同焦虑程度的个体为何会获得相似的数学表现。

2.2. 加工效能理论

Eysenck 和 Calvo (1992)提出加工效能理论(Processing Efficiency Theory), 认为工作记忆系统的资源有限, 个体处理任务时产生的焦虑会占据工作记忆系统, 对中央执行功能造成负担。高焦虑个体执行任务时需投入额外的心理资源, 损耗工作记忆资源, 影响中央执行系统, 从而导致较低的数学表现。研究

者还区分操作成绩和加工效能，操作成绩指的是完成任务的质量，加工效能是操作成绩与所投入资源之间的比率，反映工作记忆系统的使用效率。

加工效能理论能解释数学焦虑程度不同的个体为何获得相似的数学表现。相较于低焦虑者，高数学焦虑者除解决数学任务外，还需要额外的资源应对焦虑。虽然不同焦虑程度的个体能获得相同的数学表现，但高焦虑者的加工效能更低。

2.3. 注意控制理论

Eysenck 等人(2007)基于焦虑和注意控制(Miller & Cohen, 2001; Posner & Petersen, 1990)中央执行系统功能，完善加工效能理论，提出注意控制理论(Attentional Control Theory)。该理论认为焦虑会损害注意控制系统的目标导向，使加工过程偏向于刺激驱动，损害中央执行系统的抑制和转移功能。高数学焦虑者无法将注意资源集中于数学任务上，且难以抑制由数学引发的担忧、害怕等情绪，使其注意资源维持在与数学无关的任务中，从而影响数学表现。

2.4. 能力降低理论

数学焦虑与数学能力有关。数学焦虑是个体数学能力低的表现(Hembree, 1990)。能力降低理论认为，数学能力困难是数学焦虑的诱因，数学基础能力的缺陷导致数学焦虑(Maloney, 2016; Maloney & Beilock, 2012)。个体在计数、数字比较等数学基础能力方面的缺失使个体逃避数学情境，这会加深数学能力缺失，导致个体数学表现变差。

国内学者基于该理论，考察了计算流畅性和数学焦虑的关系，结果发现计算流畅性较高的个体解决数学问题更容易、数学表现更好，出色的数学能力使得个体的数学恐惧、担忧等情绪相对更少(吴甲旺等, 2022)。因此，提高个体的基础数学能力可帮助个体缓解数学焦虑。

2.5. 自我决定理论

自我决定理论(Self-Determination Theory, SDT)从激发学生内在动机、满足个体基本心理需要的角度解释数学兴趣与数学焦虑的关系(Deci et al., 1991)。该理论认为个体天生具有某种动机，该动机对无趣但重要的活动进行调节(Deci et al., 1994)。当个体完成某项重要活动后，必须同时感觉到该活动出于自我决定，是自由选择的结果，才能促进内在动机的发展(Deci et al., 1991; 刘海燕, 闫荣双, 2003)。根据自我决定理论，家长和教师应提供支持，让学生自主参与到数学学习中，促进学生自我决定和内在动机的发展，提高学生的数学兴趣以缓解数学焦虑。

3. 论文写作注意事项 数学焦虑的影响因素

本文从遗传、教师、父母三个方面探讨数学焦虑的影响因素。

3.1. 遗传因素

目前遗传与数学焦虑关系的研究尚未形成一致结论。基于个体和双生子的研究发现数学焦虑由与普通焦虑相关的基因引起(Malanchini et al., 2017; Wang et al., 2014)与个体的遗传因素有关。与数学焦虑相关的遗传因素和性别可能存在交互作用，男性和女性对数学焦虑的不同感受可能由大脑皮层微观结构的白质纤维(white matter fibers)的连接不同造成(Mehrbinejad et al., 2021)。从遗传基因的性别差异看，与睾酮相关的空间能力被看作是数学焦虑存在性别差异的重要原因(Casey & Ganley, 2021)。单胺氧化酶 A 基因(MAOA)与性别存在交互作用，MAOA 酶活性低基因型的女性表现出较高的数学焦虑，其影响虽小但显著(Carvalho et al., 2022)。但也有研究认为没有任何特定的遗传因素与数学焦虑相关(Dowker et al., 2016)。

除遗传性因素外,个体学习数学时接触的教师、家长以及个体自身的情感、认知、性别和年龄等因素也是影响个体数学焦虑的重要因素。

3.2. 教师

教师是影响个体数学焦虑的重要角色。教师自身的数学焦虑(Schaeffer et al., 2021)、教师对学生的期望(Wang et al., 2021)均影响学生的数学焦虑。

一方面,数学教师可能具有较高的数学焦虑(Hembree, 1990; Ramirez, Hooper et al., 2018a)。教师的教学风格、教师对自身数学能力的使用、教师效能都影响学生的数学焦虑。首先,教师的教学风格影响学生的数学焦虑(Bush, 1989)。成年人的数学焦虑与其小学教师的负面数学经历有关(Chavez & Widmer, 1982; Markovits, 2011)。教师的数学焦虑与课堂讨论时间正相关、与教师的课堂提问次数负相关(Ramirez, Hooper et al., 2018a),数学焦虑的教师常采用刻板的教学方式(Ball, 1990),注重知识的死记硬背而非应用,这种教学风格通常不符合学生的学习需要,导致学生的数学焦虑(Markovits, 2011)。其次,教师的数学焦虑影响其对自身数学能力的使用从而导致学生的数学焦虑。数学焦虑的教师可能未掌握相关的教学知识(Hembree, 1990; Novak & Tassell, 2017),无法帮助学生建立系统的数学知识,从而使学生因数学知识和能力不足而产生数学焦虑。此外,教师的数学焦虑使教师担忧教学失败的后果,产生担忧和恐惧,导致教师在教学中难以有效地获取和使用自身的知识和能力(Beilock, 2008; Ramirez, 2017; Ramirez et al., 2017)。教师的数学焦虑还通过教师效能影响学生的数学焦虑。基于小学职前教师的研究发现数学焦虑与教师效能存在显著负相关(Swars et al., 2006)。因此,数学焦虑会影响教师效能、教师能力的使用、教师营造的课堂氛围(Mizala et al., 2015)从而影响学生的数学学习体验。而数学焦虑对教师的影响最终通过学生的数学成就(Ramirez et al., 2018b)和数学学习态度体现,产生类似父母数学焦虑的代际传递作用,即高数学焦虑教师的学生也存在较高的数学焦虑(Schaeffer et al., 2021)。

另一方面,数学焦虑影响教师对学生的期望进而影响学生的数学焦虑。数学焦虑的职前教师对学生的期望较低,并且出现性别不对称现象,职前数学教师对女生数学成绩的期望低于男生(Mizala et al., 2015)。小学女教师的数学焦虑与女学生的数学信念(男孩和女孩谁更擅长数学)有关(Beilock et al., 2010)。在具有数学焦虑的小学数学女教师影响下,女生认为男生比女生更擅长数学,女生以女教师为榜样,认为自己同样无法胜任数学学习、怀疑自身的数学能力(Beilock et al., 2010)。因此,由数学焦虑带来的刻板印象可能会使数学焦虑的教师对个别学生产生期望偏差(Andersen, 2018; Copur-Gencturk et al., 2020)。此外,数学教师对学生的期望影响师生互动。受数学焦虑影响而形成的数学性别刻板印象影响师生互动,表现为参与教学机会的减少、更多的负面反馈(Tenenbaum & Ruck, 2007; Weinstein et al., 2004)。这会逐渐破坏学生的数学信心(Andersen, 2018; Gunderson et al., 2012; Tiedemann, 2000),降低数学成就、加剧数学焦虑。教师期望影响下的师生互动本质也是数学焦虑影响教学风格乃至教师对自身能力使用的一种体现。

3.3. 父母

父母同样是影响个体数学焦虑的重要角色。父母的教育卷入、自身的数学焦虑、教养方式等都是影响个体数学焦虑的社会性因素。

父母教育卷入是影响个体数学焦虑的重要因素。父母通常以辅导作业、家校沟通、对子女的学习期望和态度等方式卷入子女的数学学习(Seginer, 2006)。父母的教育卷入与子女的数学焦虑存在显著负相关(Vukovic et al., 2013; 樊鑫等, 2021; 赵晓萌等, 2021),父母为子女提供帮助、对子女的数学学习保持高期望可显著降低子女的数学焦虑、提高子女的数学成就(Berkowitz et al., 2015)。

父母自身的数学焦虑是影响个体数学焦虑的重要因素。数学焦虑不仅存在于个体早期的求学过程(Levy et al., 2021), 也存在于成年人群(Miller & Bichsel, 2004)。父母的数学焦虑对子女的数学焦虑产生影响(Chang & Beilock, 2016)。当数学焦虑的父母经常参与子女作业时, 子女的数学焦虑水平越来越高(Maloney et al., 2015)。在数学焦虑代际传递的过程中, 母女之间的影响尤为显著, 母亲的数学焦虑越高则女儿的数学焦虑越高(Casad et al., 2015; Daches Cohen & Rubinsten, 2017; Maloney et al., 2015)。但有研究发现父母自身的数学焦虑与个体数学焦虑的关系不显著(Jameson, 2014)。因此, 父母自身的数学焦虑是否会通过代际传递的方式延伸至个体尚未形成一致结论, 未来研究可进一步探究数学焦虑代际传递的发展机制及其具有性别差异的原因。

父母的教养方式同样对个体数学焦虑产生影响。不同类型的教养方式对数学焦虑的影响不同。父母教养方式与数学焦虑不仅存在直接相关, 也存在间接相关。专制型教养下的个体数学焦虑程度较高(Macmull & Ashkenazi, 2019; Sepehrianazar & Babae, 2014)。权威型教养方式对数学焦虑具有显著的直接积极影响和间接的消极影响, 即一方面权威型教养方式会对数学焦虑产生直接的积极影响, 另一方面该教养方式与数学自我效能感正相关, 从而通过数学自我效能感的作用降低数学焦虑。放任型教养方式与数学焦虑存正相关, 但程度较低(Macmull & Ashkenazi, 2019)。国外对教养方式的定义具有其文化特色, 其类型划分与国内的教养方式具有差异。因此应辩证看待国外研究成果, 结合国情验证和应用。

4. 数学焦虑的干预

研究数学焦虑的目的是帮助个体缓解数学焦虑, 建立积极数学态度, 提高数学成就。研究者尝试不同措施缓解个体数学焦虑。Rubinsten 等人(2018)提出生物-心理-社会模型, 认为数学焦虑的发展变化受多种因素影响, 包括数学能力、基因易感性、社会环境因素等, 这些因素随着时间推移发生变化。因此, 研究者需关注数学焦虑在个体成长过程中的变化及数学焦虑的异质性。针对不同类型的个体采用不同的干预方法(Wang et al., 2018)。因此, 数学焦虑的干预措施必须考虑数学焦虑的异质性、个体差异性和干预方法的适切性。

能力降低理论认为高数学焦虑者存在数学能力的缺失, 因此可增强个体数学能力以缓解数学焦虑。研究者采用为期 8 周的一对一强化认知辅导项目, 通过对数学概念知识、计数策略、数字学习等方面进行训练可提高学生的算术成绩, 缓解数学焦虑, 而且数学焦虑者大脑中与情绪有关的杏仁核的神经异常反应消失, 并且杏仁核异常反应越低个体数学焦虑降低的程度越大, 证明了提高学生的数学能力可有效降低数学焦虑, 并改变数学焦虑者神经生理层面的活动(Supekar et al., 2015)。

此外, 游戏也能有效缓解数学焦虑。丰富的棋盘类游戏可促进孩子数字能力发展(Laski & Siegler, 2014; Ramani & Siegler, 2008)。棋盘类游戏能帮助学生将数学与日常生活相联系、增加接触数学的机会(Petersen & Hyde, 2017), 帮助学生建立积极的数学态度和情感, 降低数学焦虑。促进协作和社交互动的游戏也能更有效地降低数学焦虑(Dondio et al., 2022)。但目前游戏对数学焦虑的影响尚有争议。有研究表明单人游戏和多人协作游戏均能有效降低学生的数学焦虑(Vogel et al., 2006), 但有学者指出团队协作游戏才能有效降低个体数学焦虑(Wouters et al., 2013)。因此, 未来研究应控制协作、社交互动等变量, 考察不同游戏缓解数学焦虑的有效性(Dondio et al., 2022)。

表达性写作也能缓解数学焦虑。研究发现, 采用表达性写作的实验组中高数学焦虑与低数学焦虑个体在数学表现上的差异显著减少。而对照组中, 高数学焦虑组的数学表现显著低于低数学焦虑组(Park et al., 2014)。此外, 自我肯定干预也属于写作类的社会心理干预方法, 对缓解由负面刻板印象带来的学业成绩差距具有显著作用(Cohen et al., 2006)。其他常见的干预措施还包括正念(任志洪等, 2018; 刘俊香等, 2022)、音乐疗法(王昕, 叶丹, 2012)、教学支持(Supekar et al., 2015)、焦点解决团体辅导(魏晓薇等, 2022)。

上述措施多从国外引入，文化氛围、社会环境和教育背景的不同是否会影响干预措施的效果，仍有待验证。

5. 研究展望

基于数学焦虑的研究回顾，未来对数学焦虑的研究可关注以下三方面：

5.1. 科学评估数学焦虑

当前国内关于数学焦虑的评估主要以简化版数学焦虑量表(Hopko et al., 2003)的改编量表为主，过度依赖个体的主观报告，对受试者阅读等能力的要求相对较高，且一些受试者出于社会期待而隐藏自己的真实情况，较难获取受试者的真实情况。未来对数学焦虑的评估可参照神经生理指标。来自 EEG 的证据表明即使高与低数学焦虑组在行为层面无显著差异，但在神经层面出现显著差异(刘洁等, 2020)，未来评估数学焦虑可考虑采用主观报告和电生理测量相结合的方式，科学评估数学焦虑。另外，可采用内隐联想测验(IAT)(王超等, 2023)，通过图片代替文字，采用适合儿童认知发展的计算机任务代替传统的纸笔测验，开发适合于儿童认知发展水平的测量工具。

5.2. 构建数学焦虑的影响因素模型

数学焦虑的影响因素具有多样性和复杂性。社会文化、家庭、教师、认知等都是影响数学焦虑的重要因素，但缺乏一定的系统性。未来研究可按照布朗芬布伦纳的生态系统理论(1998)，整合数学焦虑的影响因素，构建影响数学焦虑的微观系统 - 中间系统 - 外层系统 - 宏系统，结合神经电生理技术，揭示不同因素间、个体与社会因素间的交互作用机制。此外数学学科特点是影响数学焦虑的重要因素，未来需要可考察数学的逻辑性、抽象性等特点与不同年龄个体数学焦虑的作用机制。同时，未来研究应突破横断研究限制，采用追踪研究以揭示数学焦虑的发展机制。

5.3. 开发缓解数学焦虑的有效措施

首先，当前数学焦虑的干预措施多从焦虑领域迁移而来，数学学科具有其学科特点，其对于数学焦虑干预的有效性仍待进一步验证。未来数学焦虑的干预应积极融合缓解焦虑的一般方法和数学学科的特性。其次，不同性别、年龄阶段的个体，其数学焦虑存在差异性和特异性，未来的干预措施应结合个体特点形成个性化的系统方案。最后，研究者应宏观把控数学学习的各个环节，围绕学生、教师、家长三方主体，考试、作业、听课三个环节制定相关干预策略，围绕数学焦虑的影响因素建立预防系统，做到预防和干预并举。

基金项目

感谢教育部人文社会科学研究青年基金(22YJCZH164)，湖州师范学院“四新”教育教学改革研究项目(JG202217)(JG202344)，2023 年国家级大学生创新创业训练计划项目(基于点探测注意训练任务的小学生数学焦虑干预研究，202310347016)，湖州市自然科学基金(2023YZ38)对本项目的资助。

参考文献

- 陈英和, 耿柳娜(2002). 数学焦虑研究的认知取向. *心理科学*, 25(6), 653-655+648-764.
<https://doi.org/10.16719/j.cnki.1671-6981.2002.06.004>
- 樊鑫, 张鑫武, 唐彬, 常芳(2021). 家庭背景和父母参与对数学焦虑的影响研究——基于陕西和台湾农村地区. *数学教育学报*, 30(2), 14-19.
- 耿柳娜, 陈英和(2005). 数学焦虑对儿童加减法认知策略选择和执行的影响. *心理发展与教育*, 21(4), 24-27.

- 刘海燕, 闫荣双(2003). 认知动机理论的新近展——自我决定论. *心理科学*, 26(6), 1115-1116. <https://doi.org/10.16719/j.cnki.1671-6981.2003.06.041>
- 刘洁, 李瑾琪, 申超然, 胡小惠, 赵庭浩, 关青, 罗跃嘉(2020). 数学焦虑个体近似数量加工的神经机制: 一项 EEG 研究. *心理学报*, 52(8), 958-970.
- 刘俊香, 连怡遥, 王中会(2022). 正念冥想改善焦虑的心理机制探究. *医学与哲学*, 43(16), 30-33.
- 任志洪, 张雅文, 江光荣(2018). 正念冥想对焦虑症状的干预: 效果及其影响因素元分析. *心理学报*, 50(3), 283-305.
- 王超, 王慧娇, 李鲜, 舒欣(2023). 学前儿童对幼师性别的偏好——来自幼儿友好型内隐联想测验(PSF-IAT)的证据. *天津师范大学学报(社会科学版)*, (2), 114-120.
- 王昕, 叶丹(2012). 音乐对焦虑症状干预效果的元分析. *中国音乐*, (4), 201-208+220.
- 魏晓薇, 李强, 袁茜, 翟宏堃, 张润(2022). 焦点解决取向团体辅导对血液透析患者负面情绪及医学应对方式的干预效果. *中国临床心理学杂志*, 30(1), 207-211+240. <https://doi.org/10.16128/j.cnki.1005-3611.2022.01.042>
- 吴甲旺, 李红霞, 司继伟(2022). 小学低年级儿童的计算流畅性与数学焦虑: 基于变量为中心与个体为中心的分析. *心理发展与教育*, 38(1), 72-80. <https://doi.org/10.16187/j.cnki.issn1001-4918.2022.01.09>
- 赵晓萌, 张傲雪, 张明亮, 李红霞, 司继伟(2021). 父母教育卷入与小学儿童数学焦虑的纵向联系: 数学态度的中介作用. *心理发展与教育*, 37(5), 683-690. <https://doi.org/10.16187/j.cnki.issn1001-4918.2021.05.09>
- Andersen, I. G. (2018). Pygmalion in Instruction? Tracking, Teacher Reward Structures, and Educational Inequality. *Social Psychology of Education*, 21, 1021-1044. <https://doi.org/10.1007/s11218-018-9452-z>
- Ashcraft, M. H. (2002). Math Anxiety: Personal, Educational, and Cognitive Consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 181-185. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00196>
- Ball, D. L. (1990). Breaking with Experience in Learning to Teach Mathematics: The Role of a Preservice Methods Course. *For the Learning of Mathematics*, 10, 10-16.
- Beilock, S. L. (2008). Math Performance in Stressful Situations. *Current Directions in Psychological Science*, 17, 339-343. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00602.x>
- Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramirez, G., & Levine, S. C. (2010). Female Teachers' Math Anxiety Affects Girls' Math Achievement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 1860-1863. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910967107>
- Berkowitz, T., Schaeffer, M. W., Maloney, E. A., Peterson, L., Gregor, C., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2015). Math at Home Adds Up to Achievement in School. *Science*, 350, 196-198. <https://doi.org/10.1126/science.aac7427>
- Bush, W. S. (1989). Mathematics Anxiety in Upper Elementary School Teachers. *School Science and Mathematics*, 89, 499-509. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1989.tb11952.x>
- Carvalho, M. R. S., Barbosa de Carvalho, A. H., Paiva, G. M., Andrade Jorge, C. de C., dos Santos, F. C., Koltermann, G., de Salles, J. F., Moeller, K., Maia de Oliveira Wood, G., & Haase, V. G. (2022). MAOA-LPR Polymorphism and Math Anxiety: A Marker of Genetic Susceptibility to Social Influences in Girls? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1516, 135-150. <https://doi.org/10.1111/nyas.14814>
- Casad, B. J., Hale, P., & Wachs, F. L. (2015). Parent-Child Math Anxiety and Math-Gender Stereotypes Predict Adolescents' Math Education Outcomes. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 1597. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01597>
- Casey, B. M., & Ganley, C. M. (2021). An Examination of Gender Differences in Spatial Skills and Math Attitudes in Relation to Mathematics Success: A Bio-Psychosocial Model. *Developmental Review*, 60, Article 100963. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2021.100963>
- Chang, H., & Beilock, S. L. (2016). The Math Anxiety-Math Performance Link and Its Relation to Individual and Environmental Factors: A Review of Current Behavioral and Psychophysiological Research. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.011>
- Chavez, A., & Widmer, C. C. (1982). Math Anxiety: Elementary Teachers Speak for Themselves. *Educational Leadership*, 39, 387-388.
- Cohen, G. L., Garcia, J., Apfel, N., & Master, A. (2006). Reducing the Racial Achievement Gap: A Social-Psychological Intervention. *Science*, 313, 1307-1310. <https://doi.org/10.1126/science.1128317>
- Copur-Gencturk, Y., Cimpian, J. R., Lubienski, S. T., & Thacker, I. (2020). Teachers' Bias against the Mathematical Ability of Female, Black, and Hispanic Students. *Educational Researcher*, 49, 30-43. <https://doi.org/10.3102/0013189X19890577>
- Daches Cohen, L., & Rubinsten, O. (2017). Mothers, Intrinsic Math Motivation, Arithmetic Skills, and Math Anxiety in Elementary School. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1939. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01939>
- Deci, E. L., Eghrari, H., Patrick, B. C., & Leone, D. R. (1994). Facilitating Internalization: The Self-Determination Theory

- Perspective. *Journal of Personality*, 62, 119-142. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1994.tb00797.x>
- Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Ryan, R. M. (1991). Motivation and Education: The Self-Determination Perspective. *Educational Psychologist*, 26, 325-346. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653137>
- Dondio, P., Gusev, V., & Rocha, M. (2022). *Do Games Reduce Math Anxiety? A Meta-Analysis*. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/pbq27>
- Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics Anxiety: What Have We Learned in 60 Years? *Frontiers in Psychology*, 7, Article 508. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00508>
- Dreger, R. M., & Aiken, L. R. (1957). The Identification of Number Anxiety in a College Population. *Journal of Educational Psychology*, 48, 344-351. <https://doi.org/10.1037/h0045894>
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and Performance: The Processing Efficiency Theory. *Cognition & Emotion*, 6, 409-434. <https://doi.org/10.1080/02699939208409696>
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and Cognitive Performance: Attentional Control Theory. *Emotion*, 7, 336-353. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2012). The Role of Parents and Teachers in the Development of Gender-Related Math Attitudes. *Sex Roles*, 66, 153-166. <https://doi.org/10.1007/s11199-011-9996-2>
- Hembree, R. (1990). The Nature, Effects, and Relief of Mathematics Anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21, 33-46. <https://doi.org/10.2307/749455>
- Hopko, D. R., Mahadevan, R., Bare, R. L., & Hunt, M. K. (2003). The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS): Construction, Validity, and Reliability. *Assessment*, 10, 178-182. <https://doi.org/10.1177/1073191103010002008>
- Jameson, M. M. (2014). Contextual Factors Related to Math Anxiety in Second-Grade Children. *The Journal of Experimental Education*, 82, 518-536. <https://doi.org/10.1080/00220973.2013.813367>
- Laski, E. V., & Siegler, R. S. (2014). Learning from Number Board Games: You Learn What You Encode. *Developmental Psychology*, 50, 853-864. <https://doi.org/10.1037/a0034321>
- Levy, H. E., Fares, L., & Rubinsten, O. (2021). Math Anxiety Affects Females' Vocational Interests. *Journal of Experimental Child Psychology*, 210, Article 105214. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105214>
- Macmull, M. S., & Ashkenazi, S. (2019). Math Anxiety: The Relationship between Parenting Style and Math Self-Efficacy. *Frontiers in Psychology*, 10, Article 1721. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01721>
- Malanchini, M., Rimfeld, K., Shakeshaft, N. G., Rodic, M., Schofield, K., Selzam, S., Dale, P. S., Petrill, S. A., & Kovas, Y. (2017). The Genetic and Environmental Aetiology of Spatial, Mathematics and General Anxiety. *Scientific Reports*, 7, Article No. 42218. <https://doi.org/10.1038/srep42218>
- Maloney, E. A. (2016). Math Anxiety: Causes, Consequences, and Remediation. In K. R. Wentzel, & D. B. Miele (Eds.), *Handbook of Motivation at School* (pp. 408-423). Routledge.
- Maloney, E. A., & Beilock, S. L. (2012). Math Anxiety: Who Has It, Why It Develops, and How to Guard against It. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 404-406. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.06.008>
- Maloney, E. A., Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2015). Intergenerational Effects of Parents' Math Anxiety on Children's Math Achievement and Anxiety. *Psychological Science*, 26, 1480-1488. <https://doi.org/10.1177/0956797615592630>
- Markovits, Z. (2011). Beliefs Hold by Pre-School Prospective Teachers toward Mathematics and Its Teaching. *Proceedings—Social and Behavioral Sciences*, 11, 117-121. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.01.045>
- Mehrabinejad, M.-M., Sanjari Moghaddam, H., Mohammadi, E., Hajighadery, A., Sinaeifar, Z., & Aarabi, M. H. (2021). Sex Differences in Microstructural White Matter Alterations of Mathematics Anxiety Based on Diffusion MRI Connectometry. *Neuropsychology*, 35, 197-206. <https://doi.org/10.1037/neu0000684>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miller, H., & Bichsel, J. (2004). Anxiety, Working Memory, Gender, and Math Performance. *Personality and Individual Differences*, 37, 591-606. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2003.09.029>
- Mizala, A., Martínez, F., & Martínez, S. (2015). Pre-Service Elementary School Teachers' Expectations about Student Performance: How Their Beliefs Are Affected by Their Mathematics Anxiety and Student's Gender. *Teaching and Teacher Education*, 50, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2015.04.006>
- Novak, E., & Tassell, J. L. (2017). Studying Preservice Teacher Math Anxiety and Mathematics Performance in Geometry, Word, and Non-Word Problem Solving. *Learning and Individual Differences*, 54, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.01.005>
- Park, D., Ramirez, G., & Beilock, S. L. (2014). The Role of Expressive Writing in Math Anxiety. *Journal of Experimental*

- Psychology: Applied*, 20, 103-111. <https://doi.org/10.1037/xap0000013>
- Petersen, J. L., & Hyde, J. S. (2017). Trajectories of Self-Perceived Math Ability, Utility Value and Interest across Middle School as Predictors of High School Math Performance. *Educational Psychology*, 37, 438-456. <https://doi.org/10.1080/01443410.2015.1076765>
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.000325>
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting Broad and Stable Improvements in Low-Income Children's Numerical Knowledge through Playing Number Board Games. *Child Development*, 79, 375-394. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01131.x>
- Ramirez, G. (2017). Motivated Forgetting in Early Mathematics: A Proof-of-Concept Study. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 2087. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02087>
- Ramirez, G., Hooper, S. Y., Kersting, N. B., Ferguson, R., & Yeager, D. (2018a). Teacher Math Anxiety Relates to Adolescent Students' Math Achievement. *AERA Open*, 4. <https://doi.org/10.1177/2332858418756052>
- Ramirez, G., Shaw, S. T., & Maloney, E. A. (2018b). Math Anxiety: Past Research, Promising Interventions, and a New Interpretation Framework. *Educational Psychologist*, 53, 145-164. <https://doi.org/10.1080/00461520.2018.1447384>
- Ramirez, G., McDonough, I. M., & Jin, L. (2017). Classroom Stress Promotes Motivated Forgetting of Mathematics Knowledge. *Journal of Educational Psychology*, 109, 812-825. <https://doi.org/10.1037/edu0000170>
- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The Mathematics Anxiety Rating Scale: Psychometric Data. *Journal of Counseling Psychology*, 19, 551-554. <https://doi.org/10.1037/h0033456>
- Rubinsten, O., Marciano, H., Eidlin Levy, H., & Daches Cohen, L. (2018). A Framework for Studying the Heterogeneity of Risk Factors in Math Anxiety. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 12, Article 291. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00291>
- Sarason, I. G. (1984). Stress, Anxiety, and Cognitive Interference: Reactions to Tests. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46, 929-938. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.46.4.929>
- Sarason, I. G., & Stoops, R. (1978). Test Anxiety and the Passage of Time. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 46, 102-109. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.46.1.102>
- Schaeffer, M. W., Rozek, C. S., Maloney, E. A., Berkowitz, T., Levine, S. C., & Beilock, S. L. (2021). Elementary School Teachers' Math Anxiety and Students' Math Learning: A Large-Scale Replication. *Developmental Science*, 24, e13080. <https://doi.org/10.1111/desc.13080>
- Seginer, R. (2006). Parents' Educational Involvement: A Developmental Ecology Perspective. *Parenting*, 6, 1-48. https://doi.org/10.1207/s15327922par0601_1
- Sepehrianazar, F., & Babae, A. (2014). Structural Equation Modeling of Relationship between Mathematics Anxieties with Parenting Styles: The Meditational Role of Goal Orientation. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, 152, 607-612. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.251>
- Supekar, K., Iuculano, T., Chen, L., & Menon, V. (2015). Remediation of Childhood Math Anxiety and Associated Neural Circuits through Cognitive Tutoring. *Journal of Neuroscience*, 35, 12574-12583. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0786-15.2015>
- Swars, S. L., Daane, C. J., & Giesen, J. (2006). Mathematics Anxiety and Mathematics Teacher Efficacy: What Is the Relationship in Elementary Preservice Teachers? *School Science and Mathematics*, 106, 306-315. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2006.tb17921.x>
- Tenenbaum, H. R., & Ruck, M. D. (2007). Are Teachers' Expectations Different for Racial Minority than for European American Students? A Meta-Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 99, 253-273. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.2.253>
- Tiedemann, J. (2000). Parents' Gender Stereotypes and Teachers' Beliefs as Predictors of Children's Concept of Their Mathematical Ability in Elementary School. *Journal of Educational Psychology*, 92, 144-151. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.1.144>
- Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K., & Wright, M. (2006). Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34, 229-243. <https://doi.org/10.2190/FLHV-K4WA-WPVQ-HOYM>
- Vukovic, R. K., Roberts, S. O., & Green Wright, L. (2013). From Parental Involvement to Children's Mathematical Performance: The Role of Mathematics Anxiety. *Early Education & Development*, 24, 446-467. <https://doi.org/10.1080/10409289.2012.693430>
- Wang, Z., Borriello, G. A., Oh, W., Lukowski, S., & Malanchini, M. (2021). Co-Development of Math Anxiety, Math Self-Concept, and Math Value in Adolescence: The Roles of Parents and Math Teachers. *Contemporary Educational*

Psychology, 67, Article 102016. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.102016>

Wang, Z., Hart, S. A., Kovas, Y., Lukowski, S., Soden, B., Thompson, L. A., Plomin, R., McLoughlin, G., Bartlett, C. W., Lyons, I. M., & Petrill, S. A. (2014). Who Is Afraid of Math? Two Sources of Genetic Variance for Mathematical Anxiety. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55, 1056-1064. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12224>

Wang, Z., Shakeshaft, N., Schofield, K., & Malanchini, M. (2018). Anxiety Is Not Enough to Drive Me Away: A Latent Profile Analysis on Math Anxiety and Math Motivation. *PLOS ONE*, 13, e0192072. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192072>

Weinstein, R. S., Gregory, A., & Strambler, M. J. (2004). Intractable Self-Fulfilling Prophecies *Fifty Years* after Brown v. Board of Education. *American Psychologist*, 59, 511-520. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.6.511>

Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., & van der Spek, E. D. (2013). A Meta-Analysis of the Cognitive and Motivational Effects of Serious Games. *Journal of Educational Psychology*, 105, 249-265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>