

数学焦虑与估算精算的关系研究

盛盼盼, 王晓庄

天津师范大学心理学部, 天津

收稿日期: 2021年11月5日; 录用日期: 2021年12月10日; 发布日期: 2021年12月20日

摘要

本文介绍了数学焦虑的含义、测量方式、维度和影响因素, 简述了估算与精算的概念以及影响因素, 回顾了数学焦虑影响数学表现的理论解释以及二者之间的关系, 分析了数学焦虑与数学表现之间关系的性别差异。指出参与估算、精算的神经机制以及数学焦虑与二者的关系密切程度不同。本文密切关注数学焦虑与估算、精算的内在联系, 以不同的算术类型为视角, 提出数学焦虑与不同类型的数学加工机制的关联程度。并阐明未来可以进一步丰富研究范式, 探究在同一任务难度下, 数学焦虑与二者之间的关系。

关键词

数学焦虑, 估算, 精算, 数学表现

Research on the Relationship between Math Anxiety and Approximate Arithmetic and Actuarial Arithmetic

Panpan Sheng, Xiaozhuang Wang

Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin

Received: Nov. 5th, 2021; accepted: Dec. 10th, 2021; published: Dec. 20th, 2021

Abstract

This article introduces the meaning, measurement methods, dimensions and influencing factors of math anxiety, briefly describes the concepts and influencing factors of approximate and actuarial arithmetic, reviews the theoretical explanation of math anxiety affecting math performance and the relationship between them, and analyzes the gender differences in the relationship between math anxiety and math performance. It is pointed out that the neural mechanism involved in ap-

proximate and actuarial arithmetic and the relationship between math anxiety and they are different. This article pays close attention to the internal relationship between math anxiety and approximate and actuarial arithmetic, and puts forward the correlation degree between math anxiety and different types of math processing mechanism from the perspective of different types of arithmetic. It also illustrates that the future can further enrich the research paradigm and explore the relationship between math anxiety and the two under the same task difficulty.

Keywords

Math Anxiety, Approximate Arithmetic, Actuarial Arithmetic, Math Performance

Copyright © 2021 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

1.1. 数学焦虑的含义

数学焦虑(math anxiety)的定义多种多样,有的研究表明数学焦虑是指一个人面对数学时会表现出恐惧、紧张和不安(Ashcraft & Ridley, 2005; Ashcraft, 2002);有的研究认为焦虑是一种令人厌恶的情绪和动机状态,发生在威胁环境中(Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007);有的研究认为数学焦虑是当人们在与数学有关的刺激或情境中表现出紧张、恐惧、害怕等感受(Maloney et al., 2014; Ashcraft, 2002; Richardson & Suinn, 1972),它也被定义为发生在涉及数学的情况下的一种负面情绪反应,可以产生压力和逃避行为(Ashcraft & Ridley, 2005)。由此可见,数学焦虑是教育中一直存在的问题。对于有焦虑的个体来说,处理与数字或数学有关的问题时,会引起焦虑的情绪感受,从而影响他们的行为表现(Suárez-Pellicioni, Núñez-Peña, & Colomé, 2013; Sarason & Sarason, 1986)。同时数学焦虑是一种独特的子类型焦虑,即使在没有一般焦虑和考试焦虑的情况下也可以体验到(Hembree, 1990)。数学焦虑也是一种与成绩相关的情绪,可以描述为在日常生活和学校环境中处理数学问题时的紧张、忧虑或恐惧的感觉(Richardson & Suinn, 1972)。

1.2. 数学焦虑的测量

目前测量数学焦虑的量表有多种,研究者可以根据自己研究的内容来进行选择。众所周知,第一个使用比较广泛的量表是有 98 道测试题目的数学焦虑评估量表(Math Anxiety Rating Scale, MARS; Richardson & Suinn, 1972),后来 Ma (1999)对数学焦虑量表进行了元分析,使用最新的心理测量方法开发了许多更新和更短的数学焦虑量表(例如: Ganley & McGraw, 2016; Hopko, Mahadevan, Bare, & Hunt, 2003),也会翻译成其他语言来使用(例如: Carey, Hill, Devine, & Szűcs, 2017)。

测量数学焦虑的量表大体上可以分为两类:测量状态焦虑和特质焦虑量表。例如测量状态焦虑量表英文版简略数学焦虑量表(Alexander & Martray, 1989),后来翻译成中文版数学焦虑量表(MARS)用来评估被试的主观数学焦虑水平,共 25 题。测试过程中呈现可能导致数学焦虑的情境,如想象即将到来的数学考试来衡量数学焦虑的强度。为 Likert 5 点计分量表来评估自己的焦虑程度(1 分无焦虑到 5 分高度焦虑)。测验总分来评估被试的焦虑水平。一般性焦虑水平(特质焦虑)用特质性焦虑量表(STAI-T; Spielberger, Gorsuch, Lushene, Vagg, & Jacobs, 1983)进行评估,共 20 题,为 Likert 5 点计分量表,总分表示被试的焦虑水平。测试过程中呈现例如请标出当你得知你买了几件东西之后需要把价钱加起来的紧张程度。

1.3. 数学焦虑的维度

Richardson & Suinn (1972)指出数学焦虑是单个维度的, 后来有研究探究数学焦虑是否是多维的(Ganley & McGraw, 2016; Henschel & Roick, 2018), Chiu 和 Henry (1990)提到数学焦虑可以分为 4 个维度, 分别是数学评估焦虑、数学学习焦虑、数学问题解决焦虑和数学老师焦虑。数学评估焦虑指的是与数学学习评估有关的情境, 例如: 为数学考试做准备或者是考试的前一天思考数学考试; 数学学习焦虑指的是与数学活动或者过程有关的情形, 例如准备新的数学课本、上完一节数学课或者开始数学课本的新的一个章节。数学问题解决: 不同于数学考试的数学情境的问题解决。例如学习或者说明一个图表或者听其他同学解决数学问题。数学老师焦虑: 这与数学教师自身的特点有关。

Henschel & Roick (2018)认为数学焦虑与一般焦虑虽然有重叠, 但两者在理论和经验上都是不同的(Hembree, 1990)。首先的一个不同点是建立在一般考试焦虑的概念和区分两个主要的心理成分上面, 有意识的担心或担忧代表了认知的组成部分, 包括对自己的表现的自我评价低的想法(Blankstein et al., 1990), 消极的期望(Berndt & Miller, 1990), 以及对导致焦虑的情况的全神贯注(Wigfield & Meece, 1988)。情绪化代表了情感的组成部分, 包括神经过敏、恐惧、紧张的感觉以及不愉快的生理反应(Henschel & Roick, 2018)。在一项元分析中, Hembree (1988)报告了一般考试焦虑的认知和情感成分之间的中度到高度相关(0.67 ± 0.78), 并表明认知成分与考试成绩的相关性比情感成分更强且负相关。

Henschel & Roick (2018)根据成就情绪控制价值理论(Pekrun, 2006), 认为社会环境的特征(如: 教师与家长的互动与期望), 或者在不同的环境中(例如在考试中、课堂上、日常生活中)对数学焦虑的表现是不同的, 把焦虑分成了数学考试焦虑、数学老师焦虑、在教室里学习数学的焦虑、数学家庭作业的焦虑、数学课本的焦虑和数学应用的焦虑等 6 个维度, 对后人深入研究数学焦虑提供了思路。

1.4. 数学焦虑的影响因素

父母的高期待会对孩子的数学焦虑产生影响。Hillyer (1988)探究数学焦虑与完美主义之间的关系的研究中发现, 对错误过多的担心、父母亲的完美主义、以及父母亲对孩子的高期待这 3 个因素与数学焦虑存在正相关关系; 也有研究发现, 数学焦虑存在着性别差异, 在学生时代, 女孩的数学焦虑自我报告得分高于男孩, 成年后女性的自我报告得分高于男性(Devine et al., 2012; Hart & Ganley, 2019); 此外, 不同种族、民族群体和国家在数学焦虑方面也存在着差异(Krzysztof, Monika, Klaus, & Hans-Christoph, 2015; Primi, Busdraghi, Tomasetto, Morsanyi, & Chiesi, 2014; Else-Quest, Mineo, & Higgins, 2013); Hembree (1990)发现职业选择也会影响数学焦虑, 例如与社会科学和商业等其他大学专业的人相比, 基础教育专业的人更容易出现数学焦虑; Beilock 等人(2010)研究中发现, 教师的数学焦虑可能会影响学生的数学成绩; 从学生自身层面来讲, 根据赤字模型, 数学成绩差的学生可能会比成绩较好的学生有较高的数学焦虑; 自我效能感较低的学生较自我效能感较高的学生也更容易出现数学焦虑(Lindskog, Winman, & Poom, 2017)。

2. 数学焦虑影响表现的理论解释

目前关于数学焦虑与表现关系的理论解释主要有四种。认知干扰理论认为是个体注意力受到干扰, 进而影响到当前的任务; 加工效能理论注重工作记忆资源的有限性; 注意控制理论认为焦虑不仅仅可以降低注意力控制, 而且还会增加对威胁相关刺激的注意力; 赤字模型主要认为数学表现不好会引起数学焦虑。

2.1. 认知干扰理论

Sarason (1988)提出了认知干扰理论来解释数学焦虑的影响。该理论认为焦虑感受(与任务无关)通过

分散个体的注意力来影响个体的任务表现。个体在执行当前任务的过程中, 会呈现出评价焦虑, 它是一种认知干扰形式(如消极的陈述), 这种陈述会使个体的认知表现受损, 进而影响当前工作的进行。该理论假设评价焦虑产生的消极的陈述会影响到工作记忆的不同成分, 特别是中央执行和语音环路。但是该理论未详细说明认知系统里直接受影响的成分, 因此有一定的局限性。

2.2. 加工效能理论

Eysenck 等人在(2007)提出了加工效能理论来解释数学焦虑的影响。该理论的核心观点是对效能(effectiveness)和效能(efficiency)的区分。认为效能也称有效性, 指的是任务表现的质量是被标准的行为测量指标(通常指反应的准确性)来衡量; 相比之下, 效能是指绩效的有效性与在任务绩效中所花费的努力或资源之间的关系, 当为达到给定的绩效水平而投入更多的资源时, 效能会降低。

Eysenck & Calvo (1992)年提出了焦虑和表现之间的联系的另外一种解释: 认为认知焦虑干扰了高效和准确表现所需的认知能力, 理论上来说, 这种效能的降低被认为工作记忆资源的过载(Ashcraft, Kirk, & Hopko, 2000)。因此在存在数学相关应激源的情况下, 例如解决乘法问题或学习乘法的交换性质, 数学焦虑会使用工作记忆资源, 进而影响到需要占用工作记忆的数学任务(Barroso et al., 2021)。

2.3. 注意控制理论

Eysenck 等人在 2007 年在加工效能理论的基础上, 提出了注意控制理论, 它是研究焦虑和认知的一种方法, 是 Eysenck 和 Calvo 加工效能理论的完善和重要发展。该理论提出对一项任务的最初注意是由刺激驱动系统或目标导向系统控制的(Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007), 焦虑影响加工效能主要是通过损害目标导向注意系统, 并增加受刺激驱动注意系统影响的程度, 认为焦虑不仅仅可以降低注意力控制, 而且还会增加对威胁相关刺激的注意力。

在数学焦虑的情况下, 数学压力源激活刺激驱动系统, 然后破坏完成数学任务的目标导向系统(Eysenck, Derakshan, Santos, & Calvo, 2007)。此外, 消极的认知偏见, 如关注特定刺激并将其解释为威胁的倾向, 被认为是导致注意力分散的初始加工成分的一部分, 使得个人难以专注于数学问题的细节, 而是专注于消极的想法(Macleod & Mathews, 2012)。总之, 这些理论表明, 在存在数学刺激的情况下, 一个有数学焦虑的人的注意力, 可能倾向于注意数学刺激并将其解释为威胁, 会从完成的目标转向数学压力源。最终, 这种注意力的转移减少了有效和准确完成手头数学任务的可用工作记忆, 进而导致任务表现差(Barroso et al., 2021)。

2.4. 赤字模型

这个理论的观点是与注意控制理论相反的因果关系, 该理论认为数学成绩差会加剧数学焦虑, 认为较弱的基本数字处理(如计数、基本运算)水平是数学情境中焦虑的主要原因, 是其理论的核心观点(Maloney, Risko, Ansari & Fugelsang, 2010; Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012)。这一理论表明, 基本数字处理能力的不足会导致对数学的消极感受, 从而在随后的与数学相关的经历和任务中产生焦虑。一些研究为这一模型提供了实证支持, 发现具有高度数学焦虑的个体在数字量级表征技能方面表现不如数学焦虑较低的学生(Núñez-Peña & Suárez-Pellicioni, 2012)。有的研究者把这一模型应用到有数学障碍的个体, 表明这些群体比没有数学障碍的个体更容易受到数学焦虑的影响(Lai, Zhu, Chen, & Li, 2015)。

3. 估算与精算的概念及影响因素

3.1. 估算的概念与影响因素

估算(approximate arithmetic)是一种计算的估计能力, 是个体未经过精确计算而只借助原有知识对问

题提出粗略答案的一种估计形式,是心算、数概念和算术计算技巧之间相互作用的过程(司继伟,张庆林,2002);估算具有下列四个特性:① 以内在的方式呈现,不借用纸笔;② 速度快;③ 答案不精确;④ 演算过程粗略(Reys et al., 1984)。

目前人们大多从概念理解(如司继伟 & 张庆林, Patrick Lemaire, 2008)、问题表征(Siegler & Opfer, 2003)、问题特征(司继伟,张庆林,2002; LeFevre, Greenham, & Waheed, 1993)等认知加工和材料特征角度来探讨估算的制约因素,由于心算(精算)和估算涉及一些共同的心理加工过程,因此关于心算的研究结论也为估算研究提供了某些证据和思路。

3.2. 精算的概念与影响因素

精算(actuarial arithmetic)就是精确计算算式的答案(Hembree, 1990)。以往研究一般采用心算任务来测量精算。与估算对比来看,精算具有以下特性:① 是一种精确的心算;② 答案精确;③ 演算过程细致。Ashcraft 等人(2001)发现精算会受到工作记忆的影响,工作记忆容量大的被试比工作记忆容量小的被试在精算任务中表现会稍好。也有研究发现空间能力会影响到精算的表现(Carrie, Danielle, & Christine, 2016; Chen, George, & Liberzon, 2017)。Pantoja 等人(2020)发现智力、教育背景等也是影响精算的因素。

4. 数学焦虑与估算精算之间的关系

从以往研究来看,数学表现的研究范式基本上都是精算(加、减、乘、除)(Ma & Xu, 2004; Devine, Fawcett, Szűcs, & Dowker, 2012; Cimpian, Lubienski, Timmer, Makowski, & Miller, 2016; Hart & Ganley, 2016; Hart & Ganley, 2019),且发现数学焦虑与精算之间存在着不同程度的负向关系,并对未来职业规划产生影响。

Hembree (1990)和 Ma (1999)对 20 世纪 90 年代的数据进行了统计分析,结果发现数学焦虑与数学成绩之间存在显著的小至中等的负相关(Hembree: $r_s = -.25$ 至 $-.40$; Ma: $r = -.27$)。Barroso 等人(2021)也进行了一项元分析,分析了从 1992 年到 2018 年的研究中积累的 747 个效应量,结果发现数学焦虑与数学成绩之间存在着小至中等显著的负相关关系($r = .28$)。Ma 和 Xu (2004)表明数学焦虑的影响是持续性的而且也会对未来职业规划产生影响。Barroso 等人(2021)表明在整个发展过程中,数学焦虑和数学成绩会引导人们走向不同的学习结果、教育追求和职业选择。

也有研究来分别探究数学焦虑与估算之间的关系。司继伟等人(2011)研究了数学焦虑对估算的影响,结果发现高焦虑组与中、低焦虑组被试在两位数乘法数字估算的正确率和反应时方面都存在差异,与高焦虑组被试相比,中、低焦虑组被试的正确率较高且反应时较短。

基于策略的估算和基于程序的精算不仅仅是计算形式的不同,且计算期间使用的脑区也存在不同。Li 等人(2019)通过对 28 名大学生进行核磁共振成像(MRI)检查,让被试分别对复杂的整数和分数的加减乘除进行估算和精算。使用全脑、感兴趣区域和功能连接方法分析神经影像学数据,结果发现语义网络参与复杂的估算任务,语音网络参与复杂的精算任务。

根据注意控制理论(Eysenck, Derakshan, Santos, & Calco, 2007),本研究推断在同等任务难度条件下,数学焦虑与精算的负向关联程度会高于估算。由于精算是基于程序的计算且需要得出精确的答案,计算过程细致且需要较多的注意力资源,而估算基于策略,不需要计算出精确的答案,可能占用较少的注意力资源。数学焦虑的个体在计算任务中一方面目标导向注意系统受到损害,导致注意力控制降低,进而注意力转移到与解决当前问题无关的刺激上,影响当前的任务表现;也有解释说数学焦虑的个体可能通过消耗工作记忆资源(Ashcraft & Kirk, 2001; Hurst & Cordes, 2017),扰乱注意力控制机制,进而影响当前进行任务的表现(Maloney et al., 2011; Suárez-Pellicioni et al., 2016)。

以往研究都是分别探究数学焦虑与估算、精算的关系, 未来也可以丰富研究范式, 探究在同等难度条件匹配下, 数学焦虑与估算、精算的关联程度, 为进一步缓解数学焦虑对数学表现的影响奠定基础。

5. 数学焦虑与数学表现关系(估算、精算)的性别差异

关于数学焦虑的性别差异的研究很多, 但是结论不一。PISA2012 的调查显示, 不同地区的数学焦虑存在性别差异。在一些国家, 男孩的数学焦虑程度高于女孩, 比如土耳其和印度尼西亚(Abed & Alkhateeb, 2001)。然而, 在大多数国家或地区, 女孩的数学焦虑水平高于男孩(例如: Hembree, 1990; Devine et al., 2012; Hill et al., 2016; Wigfield & Meece, 1988; Xie et al., 2019), 这种性别差异可能是由于负面的数学态度, 男孩较女孩更喜欢与数学有关的课程(Freedman-Doan et al., 2000), 不愉快的早期数学学习经历(Frenzel, Pekrun, & Goetz, 2007)以及对女孩不擅长数学的负面社会刻板印象(Beilock et al., 2010)。然而, 也有几项研究表明数学焦虑方面没有性别差异(Amam et al., 2019; Shirvani, 2015)。

6. 实践意义和未来展望

本研究首先从数学焦虑的定义、测量方式、成分构成、影响因素方面对数学焦虑展开介绍, 在数学焦虑与表现之间的关系从理论层面进行解释, 同时针对如何缓解数学焦虑对表现影响方面提供建议。

首先, 教育者需要了解学生出现数学焦虑的年龄特点和主要因素, 从而更加合理的分析学生成绩下降的原因, 帮助学生有效提高数学成绩。Ashcraft 等人(2000)研究表明数学焦虑的学生在有压力的情境中进行数学运算时, 都会产生恐惧情绪, 导致成绩显著下降。这就启示教育工作者在实施教育活动时, 适当多给予数学焦虑水平高的儿童耐心和关注。

其次, 现有文献表明数学焦虑的影响是长期的。数学焦虑的人会选择避免选择数学课程, 避免选择需要数学的相关专业, 并避免选择涉及数学的职业道路。鉴于社会对技术的依赖日益增加以及当前对 STEM (科学, 技术, 工程和数学)培训的关注, 教育工作者应积极做一些相关干预, 预防或者减轻学生的数学焦虑, 并在此过程中保持一定的耐心。

刘淑贞(2010)也表明可以通过激发学生内在的学习动机, 帮助学生设立一个明确且适当的学习目标; 及时反馈学生的学习结果; 对学生的成绩进行适当的评价; 多用正强化, 慎用负强化; 充分调动和利用认知的好奇心的方式来缓解数学焦虑对学生表现的影响。

未来可以进一步丰富衡量数学表现的研究范式, 来进一步探究数学焦虑与估算、精算关系的神经机制, 也可以帮助了解人类算术加工活动的共性和规律从而为揭示数字加工的机制积累证据。

致 谢

本文得到天津市哲学社会科学规划课题资助(TJJX18-012)。

参考文献

- 刘淑贞(2010). 浅析数学焦虑的形成及其解决途径. *学苑教育*, (9), 1.
- 司继伟, 徐艳丽, 刘效贞(2011). 数学焦虑、问题形式对乘法估算的影响. *心理科学*, 34(2), 7.
- 司继伟, 张庆林(2002). 估算: 来自心理学的声音. *心理科学*, 25(2), 240-241.
- 司继伟, 张庆林, Patrick Lemaire (2008). 小学六年级儿童估算的概念理解. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 33(6), 95-101.
- Abed, A. S., & Alkhateeb, H. M. (2001). Mathematics Anxiety among Eighth-Grade Students of the United Arab Emirates. *Psychological Reports*, 89, 65-66. <https://doi.org/10.2466/pr0.2001.89.1.65>
- Alexander, L., & Martray, C. R. (1989). The Development of an Abbreviated Version of the Mathematics Anxiety Rating Scale. *Measurement & Evaluation in Counseling & Development*, 22, 143-150.

<https://doi.org/10.1080/07481756.1989.12022923>

- Amam, A., Darhim, D., Fatimah, S., & Noto, M. S. (2019). Math Anxiety Performance of the 8th Grade Students of Junior High School. *Journal of Physics Conference Series*, 1157, Article ID: 042099. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042099>
- 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>
- Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The Relationships among Working Memory, Math Anxiety, and Performance. *Journal of Experimental Psychology General*, 130, 224-237. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.224>
- Ashcraft, M. H., & Ridley, K. S. (2005). Math Anxiety and Its Cognitive Consequences: A Tutorial Review. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition* (pp. 315-327). Psychology Press.
- Ashcraft, M. H., Kirk, E. P., & Hopko, D. (2000). *On the Cognitive Consequences of Mathematics Anxiety* (pp. 175-328). Psychology Press.
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., & Daucourt, M. C. (2021). A Meta-Analysis of the Relation between Math Anxiety and Math Achievement. *Psychological Bulletin*, 147, 134-168. <https://doi.org/10.1037/bul0000307>
- Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramirez, G., & Levine, S. C. (2010). Reply to Plante *et al.*: Girls' Math Achievement Is Related to Their Female Teachers' Math Anxiety. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, E80. <https://doi.org/10.1073/pnas.1003899107>
- Berndt, T. J., & Miller, K. E. (1990). Expectancies, Values, and Achievement in Junior High School. *Journal of Educational Psychology*, 82, 319-326. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.2.319>
- Blankstein, K. R., Flett, G. L., Boase, P., & Toner, B. B. (1990). Thought Listing and Endorsement Measures of Self-Referential Thinking in Test Anxiety. *Anxiety Stress & Coping*, 2, 103-112. <https://doi.org/10.1080/08917779008249329>
- Carey, E., Hill, F., Devine, A., & Szűcs, D. (2017). The Modified Abbreviated Math Anxiety Scale: A Valid and Reliable Instrument for Use with Children. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00011>
- Carrie, G., Danielle, H., & Christine, S. (2016). How Math Anxiety Relates to Number-Space Associations. *Frontiers in Psychology*, 7, Article 1401.
- Chen, C. V., George, S. A., & Liberzon, I. (2017). Stress and Anxiety Disorders. *Hormones, Brain and Behavior (Third Edition)*, 4, 251-274. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803592-4.00079-1>
- Chiu, L. H., & Henry, L. L. (1990). Development and Validation of the Mathematics Anxiety Scale for Children. *Measurement & Evaluation in Counseling & Development*, 23, 121-127.
- Cimpian, J. R., Lubienski, S. T., Timmer, J. D., Makowski, M. B., & Miller, E. K. (2016). Have Gender Gaps in Math Closed? Achievement, Teacher Perceptions, and Learning Behaviors across Two ECLS-K Cohorts. *AERA Open*, 2, 1-19. <https://doi.org/10.1177/2332858416673617>
- Devine, A., Fawcett, K., DénesSzucs, & Dowker, A. (2012). Gender Differences in Mathematics Anxiety and the Relation to Mathematics Performance While Controlling for Test Anxiety. *Behavioral and Brain Functions*, 8, 33. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-8-33>
- Else-Quest, N. M., Mineo, C. C., & Higgins, A. (2013) Math and Science Attitudes and Achievement at the Intersection of Gender and Ethnicity. *Psychology of Women Quarterly*, 37, 293-309. <https://doi.org/10.1177/0361684313480694>
- 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: The Attentional Control Theory. *Emotion*, 7, 336-353. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>
- Freedman-Doan, C., Wigfield, A., Eccles, J. S., Blumenfeld, P., & Harold, R. D. (2000). What Am I Best at? Grade and Gender Differences in Children's Beliefs about Ability Improvement. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21, 379-402. [https://doi.org/10.1016/S0193-3973\(00\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S0193-3973(00)00046-0)
- Frenzel, A. C., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Girls and Mathematics—A “Hopeless” Issue? A Control-Value Approach to Gender Differences in Emotions towards Mathematics. *European Journal of Psychology of Education*, 22, 497. <https://doi.org/10.1007/BF03173468>
- Ganley, C. M., & McGraw, A. L. (2016). The Development and Validation of a Revised Version of the Math Anxiety Scale for Young Children. *Frontiers in Psychology*, 7, 1181. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01181>
- Hart, S. A., & Ganley, C. M. (2016). *Psychology Majors Study Cohort I. Raw Data*.
- Hart, S. A., & Ganley, C. M. (2019). The Nature of Math Anxiety in Adults: Prevalence and Correlates. *Journal of Numerical Cognition*, 5, 122-139. <https://doi.org/10.5964/jnc.v5i2.195>
- Hembree, R. (1988). Correlates, Causes, Effects, and Treatment of Test Anxiety. *Review of Educational Research*, 58, 47-77.

- <https://doi.org/10.3102/00346543058001047>
- 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>
- Henschel, S., & Roick, T. (2018). The Multidimensional Structure of Math Anxiety Revisited. *European Journal of Psychological Assessment*, 36, 123-135. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000477>
- Hill, F., Mammarella, I. C., Devine, A., Caviola, S., Passolunghi, M. C., & Szűcs, D. (2016). Maths Anxiety in Primary and Secondary School Students: Gender Differences, Developmental Changes and Anxiety Specificity. *Learning And Individual Differences*, 48, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.02.006>
- Hillyer, K. (1988). Problems of Gifted Children. *Journal of the Association for the Study of Perception*, 21, 1-2.
- 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>
- Hurst, M., & Cordes, S. (2017). Working Memory Strategies during Rational Number Magnitude Processing. *Journal of Educational Psychology*, 109, 694-708. <https://doi.org/10.1037/edu0000169>
- Krzysztof, C. Monika, S., Klaus, W., & Hans-Christoph, N. (2015). Math Anxiety Assessment with the Abbreviated Math Anxiety Scale: Applicability and Usefulness: Insights from the Polish Adaptation. *Frontiers in Psychology*, 6, 1833. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01833>
- Lai, Y., Zhu, X., Chen, Y., & Li, Y. (2015). Effects of Mathematics Anxiety and Mathematical Metacognition on Word Problem Solving in Children with and without Mathematical Learning Difficulties. *PLoS ONE*, 10, e0130570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130570>
- LeFevre, J.-A., Greenham, S. L., & Waheed, N. (1993). The Development of Procedural and Conceptual Knowledge in Computational Estimation. *Cognition & Instruction*, 11, 95-132. https://doi.org/10.1207/s1532690xc1102_1
- Li, M. Y., Tan, Cui, J., Chen, C., & Zhou, X. (2019). The Semantic Network Supports Approximate Computation. *Neuropsychology*, 33, 842-854. <https://doi.org/10.1037/neu0000548>
- Lindskog, M., Winman, A., & Poom, L. (2017). Individual Differences in Nonverbal Number Skills Predict Math Anxiety. *Cognition*, 159, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.11.014>
- Ma, X. (1999). A Meta-Analysis of the Relationship between Anxiety toward Mathematics and Achievement in Mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30, 520-540. <https://doi.org/10.2307/749772>
- Ma, X., & Xu, J. (2004). Determining the Causal Ordering between Attitude toward Mathematics and Achievement in Mathematics. *American Journal of Education*, 110, 256-280. <https://doi.org/10.1086/383074>
- Macleod, C., & Mathews, A. (2012). Cognitive Bias Modification Approaches to Anxiety. *Annual Review of Clinical Psychology*, 8, 189. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032511-143052>
- Maloney, E. A., Ansari, D., & Fugelsang, J. A. (2011). Rapid Communication: The Effect of Mathematics Anxiety on the Processing of Numerical Magnitude. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64, 10-16. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.533278>
- Maloney, E. A., Risko, E. F., Ansari, D., & Fugelsang, J. (2010). Mathematics Anxiety Affects Counting But Not Subitizing during Visual Enumeration. *Cognition*, 114, 293-297. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.09.013>
- Maloney, E. A., Sattizahn, J. R., & Beilock, S. L. (2014). Anxiety and Cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5, 403-411. <https://doi.org/10.1002/wcs.1299>
- Núñez-Peña, M. I., & Suárez-Pellicioni, M. (2012). Processing False Solutions in Additions: Differences between High- and Lower-Skilled Arithmetic Problem-Solvers. *Experimental Brain Research*, 218, 655-663. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3058-z>
- Pantoja, N., Schaeffer, M. W., Rozek, C. S., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2020). Children's Math Anxiety Predicts Their Math Achievement over and above a Key Foundational Math Skill. *Journal of Cognition and Development*, 21, 709-728. <https://doi.org/10.1080/15248372.2020.1832098>
- Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review*, 18, 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Primi, C., Busdraghi, C., Tomasetto, C., Morsanyi, K., & Chiesi, F. (2014). Measuring Math Anxiety in Italian College and High School Students: Validity, Reliability and Gender Invariance of the Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS). *Learning and Individual Differences*, 34, 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.05.012>
- Reys, R. E. et al. (1984). *Developing Computational Estimation Materials for the Middle Grades. Final Report* (156 p.).
- 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>
- Sarason, I. G. (1988). Anxiety, Self-Preoccupation and Attention. *Anxiety Research*, 1, 3-7.

<https://doi.org/10.1080/10615808808248215>

Sarason, I. G., & Sarason, B. R. (1986). *Anxiety and Interfering Thoughts*. Springer US.

https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0525-3_19

Shirvani, H. (2015). Gender Differences in Math Anxiety among High School Students. *International Journal of Learner Diversity and Identities*, 22, 16-23. <https://doi.org/10.18848/2327-0128/CGP/v22i03/48603>

Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The Development of Numerical Estimation. *Psychological Science*, 14, 237-250.

<https://doi.org/10.1111/1467-9280.02438>

Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., Lushene, R. E., Vagg, P. R., & Jacobs, G. A. (1983). *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form y1-y2)*. Consulting Psychologists Press.

Suárez-Pellicioni, M., Núñez-Peña, M. I., & Colomé, A. (2013). Abnormal Error Monitoring in Math-Anxious Individuals: Evidence from Error-Related Brain Potentials. *PLoS ONE*, 8, e81143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081143>

Suárez-Pellicioni, M., Núñez-Peña, M. I., & Colomé, À. (2016). Math Anxiety: A Review of Its Cognitive Consequences, Psychophysiological Correlates, and Brain Bases. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16, 3-22.

<https://doi.org/10.3758/s13415-015-0370-7>

Wigfield, A., & Meece, J. L. (1988). Math Anxiety in Elementary and Secondary School Students. *Journal of Educational Psychology*, 80, 210-216. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.2.210>

Xie, F., Xin, Z., Chen, X., & Zhang, L. (2019). Gender Difference of Chinese High School Students' Math Anxiety: The Effects of Self-Esteem, Test Anxiety and General Anxiety. *Sex Roles*, 81, 235-244.

<https://doi.org/10.1007/s11199-018-0982-9>