

Influential Article Review - Children and Numbers: Does Gender Play a Role?

Rudy Freeman

Phillip Bridges

Martin Watkins

This paper examines education. We present insights from a highly influential paper. Here are the highlights from this paper: Recent public discussions have suggested that the under-representation of women in science and mathematics careers can be traced back to intrinsic differences in aptitude. However, true gender differences are difficult to assess because sociocultural influences enter at an early point in childhood. If these claims of intrinsic differences are true, then gender differences in quantitative and mathematical abilities should emerge early in human development. We examined cross-sectional gender differences in mathematical cognition from over 500 children aged 6 months to 8 years by compiling data from five published studies with unpublished data from longitudinal records. We targeted three key milestones of numerical development: numerosity perception, culturally trained counting, and formal and informal elementary mathematics concepts. In addition to testing for statistical differences between boys' and girls' mean performance and variability, we also tested for statistical equivalence between boys' and girls' performance. Across all stages of numerical development, analyses consistently revealed that boys and girls do not differ in early quantitative and mathematical ability. These findings indicate that boys and girls are equally equipped to reason about mathematics during early childhood. For our overseas readers, we then present the insights from this paper in Spanish, French, Portuguese, and German.

SUMMARY

- Recent public discussions surrounding the under-representation of women in STEM fields have suggested that differences in career choices between men and women could be due to intrinsic differences in aptitude in STEM domains. This claim would predict that gender differences should be evident from early on in childhood. Our data, compiled across studies from over 500 infants and children, provide a comprehensive analysis of the effect of gender on early mathematical cognition, and show that in fact, there are no substantive gender differences in mathematical thinking skills during infancy or early childhood. Boys and girls perform equivalently on numerosity perception, counting acquisition, and early school-based math concepts. Our results are consistent with those of a previous study of nearly 200 children who were tested on knowledge of the counting procedure using the «Give-N» task and found no evidence of a statistical difference between boys and girls.³⁰ Furthermore, early school-based mathematical concepts that build upon knowledge of the logical principles of counting did not show any gender-based differences, suggesting that boys and girls

learn mathematics similarly even beyond counting acquisition, into early schooling. For some tests, such as numerical estimation and counting skills, boys and girls were indistinguishable at the initial timepoint. For other tests, such as patterns, number recognition, and number combinations, boys and girls had overlapping scores in the middle timepoints. This shows that even when gender differences are detected, they are inconsistent and highlights the importance of future work that measures gender differences using a longitudinal approach. In contrast, their work found consistent differences in math ability based on socioeconomic status.⁹ Although gender differences between socioeconomic statuses could not be assessed in the present study, it is important to take this into consideration in future work. Comparing the present study to previous work also emphasizes the reality that there are many ways to measure mathematical thinking in early childhood and group differences could vary across tasks, cohorts, and age.

- Caution should be taken when interpreting any small effects in large sample to ensure that their importance is not over-exaggerated.^{13,75}
- The origin of adult gender differences in science, technology, engineering, and mathematics likely has a complex sociological explanation and cannot be easily reduced to intrinsic differences in aptitude in early childhood. Women have been discouraged from participating in mathematics and science, and there is a long legacy of sexism in academics. Stereotype threat has been shown to have deleterious effects on girls' and women's mathematics performance, and the strength of implicit stereotypes associating men over women with science predicted gender differences in 8th grade math achievement.⁷⁷ Prior studies have found that science and mathematics teachers are more likely to encourage boys to ask and answer questions, explain concepts to boys, praise boys, and spend more time interacting with boys.^{22,23,24,25} Another source for gender differences includes parental perceptions of children's abilities.²⁶ Parents who believed that men are superior at math gave significantly higher math-ability estimates to their sons than to their daughters even when controlling for the children's actual scores.^{27,28} Several studies have also found that parental expectations for children's abilities and success are correlated with their children's self-concepts of their own abilities and later performance.^{26,29} In fact, parental perceptions of children's abilities may influence children's beliefs in their abilities more than grades.⁷⁸ In addition, teachers' perceptions of students' math ability have been shown to predict later math achievement scores when earlier measures of ability are controlled.²¹ Taken together, there is a strong cultural influence on math achievement throughout childhood.

HIGHLY INFLUENTIAL ARTICLE

We used the following article as a basis of our evaluation:

Kersey, A. J., Braham, E. J., Csumitta, K. D., Libertus, M. E., & Cantlon, J. F. (2018). No intrinsic gender differences in children's earliest numerical abilities. *Npj Science of Learning*, 3(1), 1–10.

This is the link to the publisher's website:

<https://www.nature.com/articles/s41539-018-0028-7>

INTRODUCTION

Adult gender differences in science, technology, engineering, and math (STEM) career representation sometimes are thought to originate from inborn differences between the sexes in aptitude for STEM fields.^{1,2,3,4,5} Gender differences could be biological differences that are present at birth, or they might emerge over time with maturation.⁴ In this study, we focus on gender differences in early childhood. Although adult STEM talent is derived from a large suite of cognitive abilities and unlikely to be traceable to a single domain or skill, if intrinsic differences between the sexes are indeed a root cause for the under-

representation of women in STEM, one expectation is that gender differences in quantitative cognition will emerge early in human development.

Understanding the nature of gender differences in mathematics has been a focus of research for many years. However, differences in measurements, analyses, and participant samples have led to a variety of findings. For one, differences can emerge in mean performance on mathematical tasks,^{6,7,8} and small differences in favor of boys have been reported in a range of numerical skills by the end of kindergarten.⁹ Although most studies of school-aged children that find gender differences report higher performance in boys, some studies have only found advantages for boys when tasks involve more reasoning or are more spatial in nature.^{2,10} In contrast, elementary school girls sometimes show an advantage on computational tasks and when performance is assessed using school grades.¹¹ Other studies find no differences, trivial differences, or differences in older children, but not younger children.^{10,12,13,14} Group differences can sometimes be attributed to cohort effects. For instance, some studies show that differences between US and Chinese children in mathematics depend on generation or school,^{15,16} and a recent study showed that the strength of any advantage in mathematics for boys vs. girls varies by country.¹⁷ Gender differences may also emerge in the variability of mathematical performance across boys and girls. When these gender differences in cognition are observed, boys tend to show greater variability than girls, resulting in more boys than girls at the high-performing and low-performing ends of distributions.^{6,7,8,17,18} This may cause gender differences in mean performance to be absent at the group level^{12,14} but detectable at the high-performing and low-performing ends of the distributions.¹⁸

Another major obstacle in assessing such gender differences on school-based mathematics metrics is that sociocultural influences, such as stereotype threat and the influence of teachers and parents, make it difficult to tease apart gender differences in experience from differences in intrinsic abilities.^{19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29} For example, school-aged children could show gender differences in mathematics abilities because girls are given less or different exposure to mathematics than boys or are told that “math is not for girls.” Therefore, it is unclear whether differences in mathematics abilities are rooted in intrinsic differences in numerical reasoning in early childhood or whether gender differences emerge as a result of differences in cultural exposure to mathematical concepts. Understanding the sources of any gender differences is crucial for optimizing early childhood math and science curricula.

Previous research³⁰ described evidence against the existence of gender differences in visuospatial reasoning in early childhood. Across six tasks, boys and girls performed similarly on measures of object tracking (the ability to follow multiple, independent moving objects), early numerical processing, and core geometric abilities (Fig. 1). Those data revealed no gender differences in some basic cognitive abilities of children aged 3–10 years. However, that research leaves open key areas for investigating gender differences in core numerical processing, including patterns of looking at quantitative information during infancy, early discrimination acuity during quantity processing, and formal mathematics learning.

We examined children’s early mathematical cognition during infancy and early childhood to provide insight into whether gender differences are evident in early childhood. With the exception of the infant data, these data were collected as part of standard testing batteries measuring numerical processing skills. While we acknowledge that there are other ways to measure mathematical thinking in this age range, we combined published data^{31,32,33,34,35} with unpublished data from our longitudinal records that measured children’s performance in three key areas of numerical processing from our standard testing battery of early childhood numerical cognition. First, we assessed numerosity perception and acuity in infancy and childhood. Numerosity perception allows us to estimate the quantity of a set without knowing exactly how many items are in the set—we measured children’s acuity to detect differences in numerosity. Next, we examined two aspects of verbal counting acquisition during preschool, which is the earliest emerging exact understanding of quantities. Finally, we evaluated school-based mathematics during the first few years of schooling when children learn to manipulate numbers. School-based mathematics refers to comprehensive, standardized testing of a variety of mathematical skills including counting proficiency, numeral knowledge, concrete set comparison and transformation, word problems with numerical comparisons and basic arithmetic transformations, and part-whole concepts. Because the tests are age-based, the tasks completed by each

child varied. These data are largely unpublished but were combined with published data^{31,32,33,34,35} in order to examine gender differences in over 500 children.

We conducted several analyses to test for statistical differences and statistical equivalence in performance, the emergence or disappearance of differences with age, and statistical differences in variability between groups. Similarities and differences between boys' and girls' performance were assessed using independent-samples t tests to identify statistical differences in mean performance and Schuirmann's two one-sided tests of equivalence³⁶ to identify statistical equivalence in mean performance (similarity within $\frac{1}{2}$ standard deviation (s.d.) of the group data; implementation of this test for SAT-Math scores.³⁷) Testing for both statistical differences and statistical equivalence is important. Non-significant t tests only allow us to conclude that there is not enough evidence to reject the assumption that performance is equivalent between groups. However, this does not necessarily mean that the groups are statistically equivalent. By including tests of equivalence, we can determine whether the lack of a significant difference between groups reflects statistically equivalent distributions of scores between groups. To date, tests of equivalence have not been conducted on data on mathematical abilities in early childhood, but these tests are especially important for informing the "Gender Similarities Hypothesis."^{38,39} To determine whether the results of the t test were consistent across age, we also conducted simultaneous linear regressions with age, gender, and their interaction entered as predictors. A main effect of gender would suggest that there is a difference between boys and girls when controlling for age and an interaction would suggest that differences may emerge only at one end of the age range. In addition to assessing children's mean performance, we determined whether boys and girls showed equal variance in performance using Levene's test. Testing for equality of variance is particularly important in light of previous work that suggests that there are more high-performing and low-performing males than females because males show greater variability in measures of quantitative processing.⁴ For thoroughness, tests of statistical equivalence and differences in variability on scores controlled for age are reported in Supplement 1 (statistical differences in age-controlled scores should be evident in the regression analyses). Finally, for visualization purposes, we calculated growth curves at the group level following previous work.⁴⁰ Because these curves were calculated at the group level, we do not statistically test for differences between boys' and girls' growth rates and simply provide these curves as a way to visualize changes in performance with age.

Across all three aspects of early mathematical cognition assessed here, we would expect that if boys and girls truly differ in their capacities for numerical processing, we should find evidence of statistical differences in mean performance (independent-samples t tests), and we should see that this effect is consistent across age (main effect of gender in the linear regressions) or driven by one end of the age range (interaction between gender and age in the linear regression). However, the cross-sectional analysis indicates that there are no robust gender differences in early numerical processing including preverbal numerosity perception, counting acquisition, and school-based mathematics ability.

CONCLUSION

Recent public discussions surrounding the under-representation of women in STEM fields have suggested that differences in career choices between men and women could be due to intrinsic differences in aptitude in STEM domains. This claim would predict that gender differences should be evident from early on in childhood. Our data, compiled across studies from over 500 infants and children, provide a comprehensive analysis of the effect of gender on early mathematical cognition, and show that in fact, there are no substantive gender differences in mathematical thinking skills during infancy or early childhood. Boys and girls perform equivalently on numerosity perception, counting acquisition, and early school-based math concepts. Our results are consistent with those of a previous study of nearly 200 children who were tested on knowledge of the counting procedure using the "Give-N" task and found no evidence of a statistical difference between boys and girls.³⁰ Furthermore, early school-based mathematical concepts that build upon knowledge of the logical principles of counting did not show any gender-based differences, suggesting that boys and girls learn mathematics similarly even beyond counting acquisition, into early schooling. This interpretation is consistent with a prior analysis of three million elementary school children

showing that school test performance differences in mathematics between boys and girls are non-existent or trivial during elementary school, but steadily increase through high school and college.^{10,13} Thus, boys and girls begin education with equivalent early mathematical thinking skills.

Although these results are consistent with some previous work in this age range,^{10,12,30} these results contrast with other work in this age range. For example, a small advantage for boys in a variety of numerical skills by the end of kindergarten has been previously reported.⁹ However, the growth curve trajectories they fit for each test suggest that these differences were not consistent across every timepoint assessed during kindergarten. For some tests, such as numerical estimation and counting skills, boys and girls were indistinguishable at the initial timepoint. For other tests, such as patterns, number recognition, and number combinations, boys and girls had overlapping scores in the middle timepoints. This shows that even when gender differences are detected, they are inconsistent and highlights the importance of future work that measures gender differences using a longitudinal approach. In contrast, their work found consistent differences in math ability based on socioeconomic status.⁹ Although gender differences between socioeconomic statuses could not be assessed in the present study, it is important to take this into consideration in future work. Comparing the present study to previous work also emphasizes the reality that there are many ways to measure mathematical thinking in early childhood and group differences could vary across tasks, cohorts, and age.

The absence of statistical differences across the major developmental milestones of early mathematical cognition are unlikely to be due to sample size. Power analyses suggest that given the sizes of the samples analyzed here, we should have been able to detect small to medium effect sizes ranging from Cohen's $d = 0.34$ to 0.65 (80% power, $p = 0.05$; Infant Numerosity Comparison (looking time): $d = 0.65$; Early Childhood Numerosity Comparison (w): $d = 0.37$; Recitation of Count List ("How High?" task): $d = 0.47$; Counting Principles ("Give-N" task): $d = 0.52$; Math Concepts (TEMA): $d = 0.34$, (Formal/Informal Math Scores): $d = 0.40$). Importantly, even if smaller effects do exist, they are unlikely to reliably, meaningfully, or consistently manifest in children. Caution should be taken when interpreting any small effects in large sample to ensure that their importance is not over-exaggerated.^{13,75}

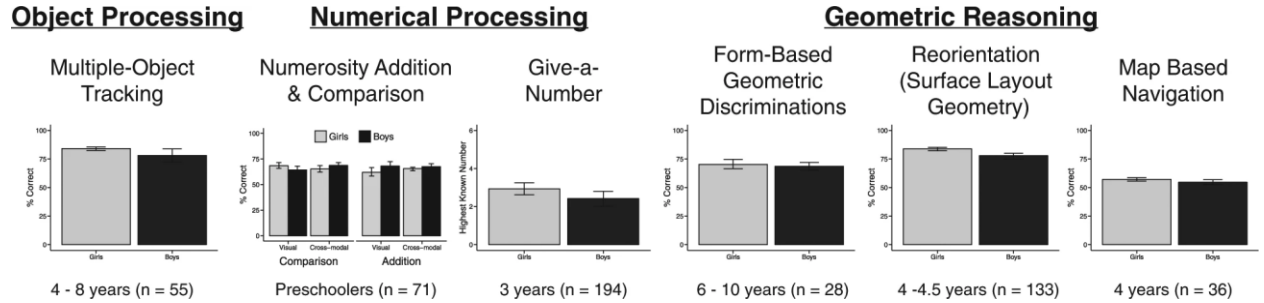
The origin of adult gender differences in science, technology, engineering, and mathematics likely has a complex sociological explanation^{2,4} and cannot be easily reduced to intrinsic differences in aptitude in early childhood. Women have been discouraged from participating in mathematics and science, and there is a long legacy of sexism in academics. Stereotype threat has been shown to have deleterious effects on girls' and women's mathematics performance^{19,20} (but see Ganley et al.⁷⁶), and the strength of implicit stereotypes associating men over women with science predicted gender differences in 8th grade math achievement.⁷⁷ Prior studies have found that science and mathematics teachers are more likely to encourage boys to ask and answer questions, explain concepts to boys, praise boys, and spend more time interacting with boys.^{22,23,24,25} Another source for gender differences includes parental perceptions of children's abilities.²⁶ Parents who believed that men are superior at math gave significantly higher math-ability estimates to their sons than to their daughters even when controlling for the children's actual scores.^{27,28} Several studies have also found that parental expectations for children's abilities and success are correlated with their children's self-concepts of their own abilities and later performance.^{26,29} In fact, parental perceptions of children's abilities may influence children's beliefs in their abilities more than grades.⁷⁸ In addition, teachers' perceptions of students' math ability have been shown to predict later math achievement scores when earlier measures of ability are controlled.²¹ Taken together, there is a strong cultural influence on math achievement throughout childhood. Expelling the stereotype that boys have an intrinsic advantage for mathematics in early childhood may lead to increased mathematics exposure and improved parental and societal perceptions, resulting in improved success in mathematics for girls.

The findings presented here provide strong evidence that boys and girls have comparable cognitive faculties for reasoning about mathematics during early childhood. Although it remains possible that gender differences in STEM involvement emerge later in development from maturation,⁴ in other cognitive skills,^{79,80} or from interactions between cultural stereotypes, training, and sexually dimorphic behaviors,^{4,81,82} there is compelling evidence that males' and females' abilities are shaped by different

cultural experiences that affect their self-image, treatment, and opportunities, and little evidence to support claims of intrinsic or biological gender differences in early mathematical cognition.

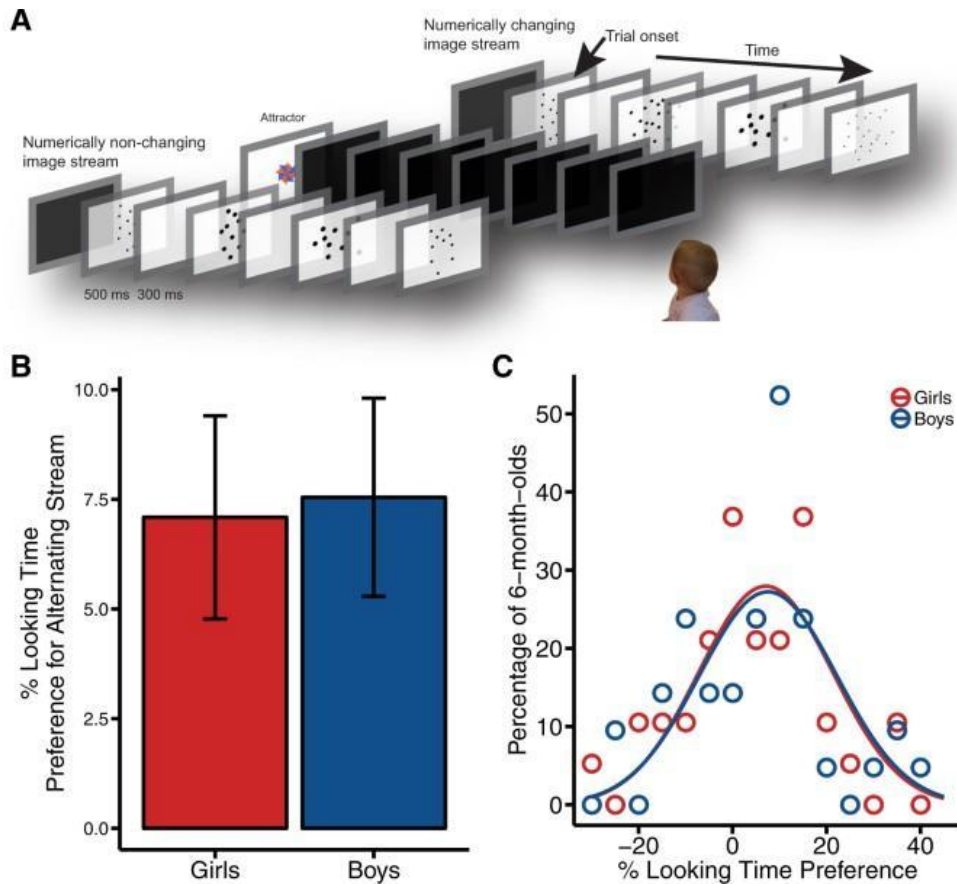
APPENDIX

**FIGURE 1
PREVIOUSLY DESCRIBED GENDER SIMILARITIES**



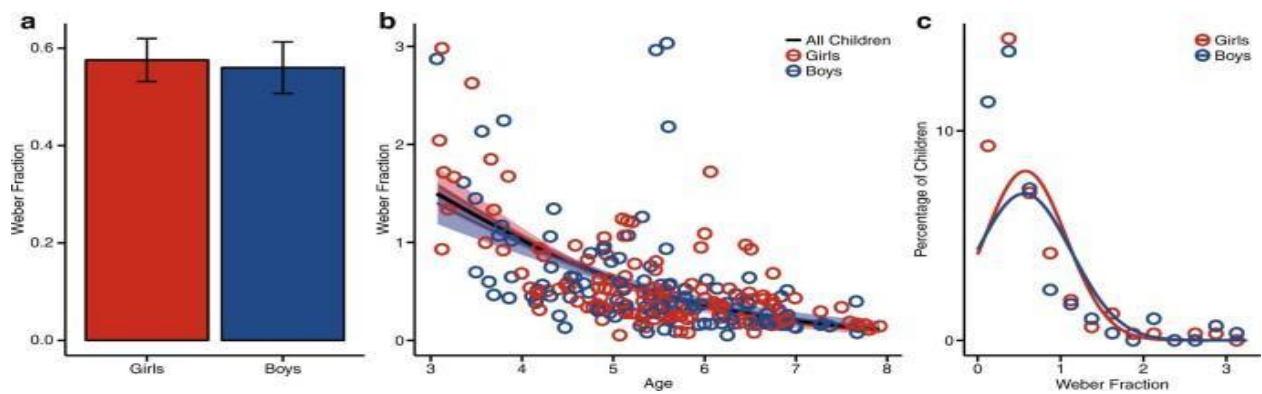
Redrawn data³⁰ showing no gender differences in early childhood on measures of object processing, numerical processing, and geometric reasoning

**FIGURE 2
INFANT NUMEROSITY**



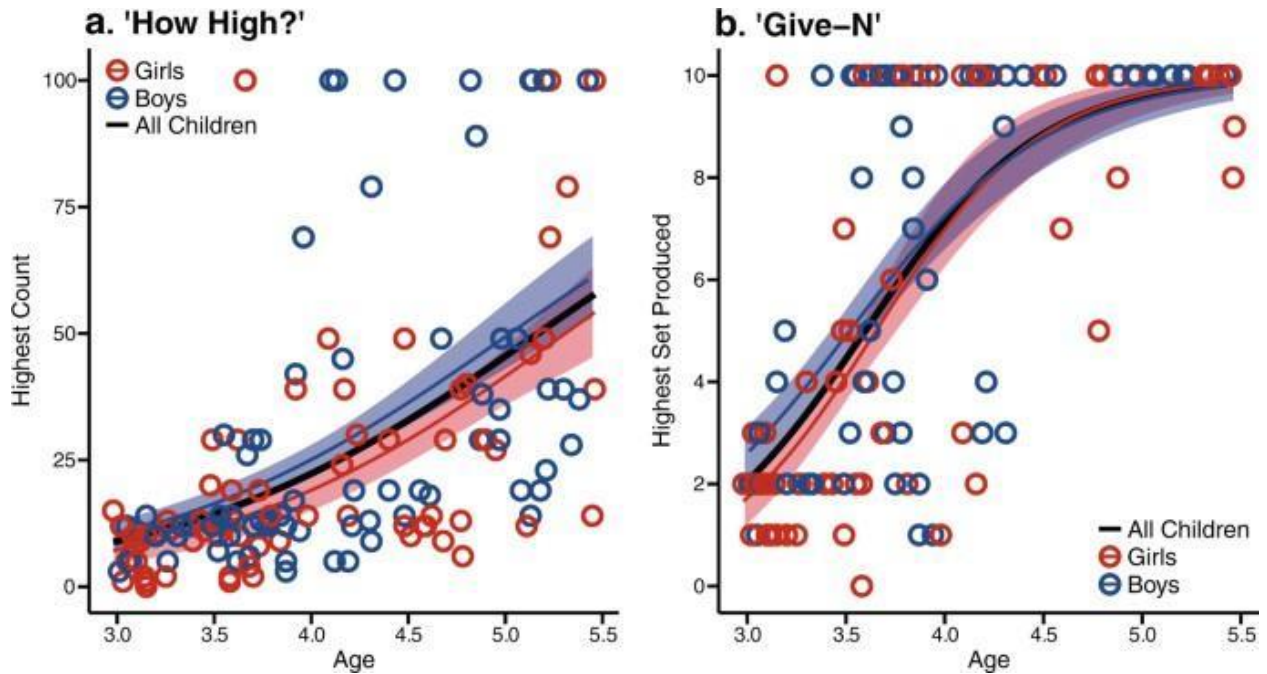
a Depiction of numerosity change detection task. b Average percentage of time looking at the numerically changing image stream for girls (red) and boys (blue). Error bars represent standard error of the mean. c Density distributions for percentage of girls (red) and boys (blue) at a given % looking time preference

FIGURE 3 EARLY CHILDHOOD NUMEROSITY



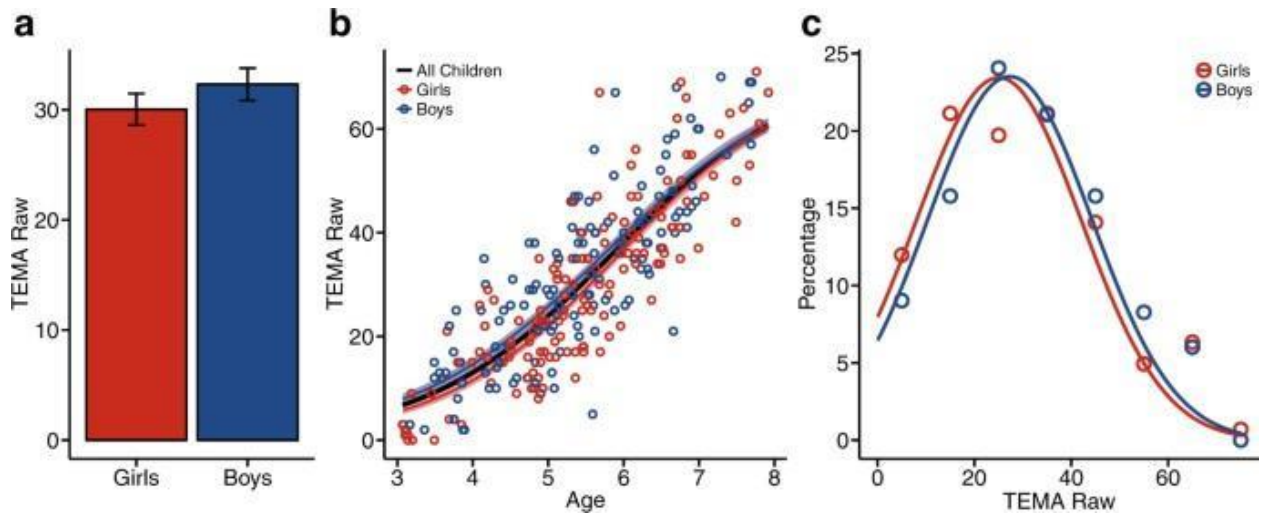
a Average Weber fraction for girls (red) and boys (blue). Error bars represent standard error of the mean. b Growth curves for Weber fractions calculated across girls (red), boys (blue), and all children (black). Lightly shaded areas around girls' and boys' growth curves indicate 1 standard deviation above and below the mean growth curve. c Density distributions for percentage of boys (blue) and girls (red) at a given Weber fraction

FIGURE 4 EARLY CHILDHOOD COUNTING



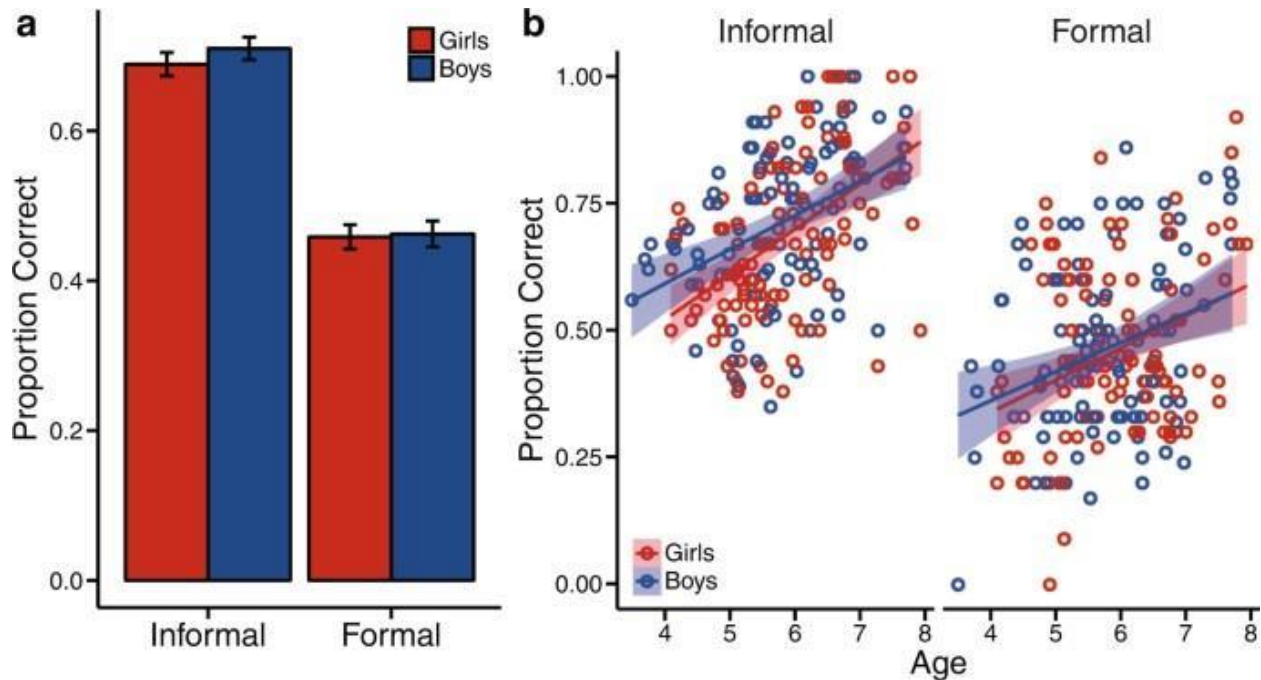
Growth curves for performance on the a “How High?” task and b “Give-N” task. Growth curves are calculated across girls (red), boys (blue), and all children (black). Lightly shaded areas around boys’ and girls’ growth curves indicate 1 standard deviation above and below the mean growth curve

FIGURE 5
EARLY CHILDHOOD MATHEMATICS



a Average raw TEMA score for girls (red) and boys (blue). Error bars represent standard error of the mean. b Growth curves for performance on TEMA calculated across girls (red), boys (blue), and all children (black). Lightly shaded areas around boys’ and girls’ growth curves indicate 1 standard deviation above and below the mean growth curve. c Density distributions for percentage of girls (red) and boys (blue) at a given raw TEMA score

FIGURE 6
EARLY CHILDHOOD FORMAL AND INFORMAL MATHEMATICS



a Average proportion correct (mean score) for administered TEMA informal and formal questions for girls (red) and boys (blue). Error bars represent standard error of the mean. b Proportion correct (mean score) for administered Informal and Formal Questions plotted by age. Lightly shaded areas around the regression lines indicate the 95% confidence interval

REFERENCES

- American Association of University Women Educational Foundation. How schools shortchange girls. AAUW Rep. 1–13 (1992).
- Antell, S. E. & Keating, D. P. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Dev.* 54, 695–701 (2016).
- Arnold, A. P. et al. Minireview: sex chromosomes and brain sexual differentiation. *Endocrinology* 145, 1057–1062 (2004).
- Ball, L. C., Cribbie, R. A. & Steele, J. R. Beyond gender differences: using tests of equivalence to evaluate gender similarities. *Psychol. Women Q.* 37, 147–154 (2013).
- Becker, J. R. Differential treatment of females and males in mathematics classes. *J. Res. Math. Educ.* 12, 40–53 (1981).
- Benbow, C. P. & Stanley, J. C. Sex differences in mathematical ability: fact or artifact? *Science* (80-) 210, 1262–1264 (1980).
- Benbow, C. P. & Stanley, J. C. Sex differences in mathematical reasoning ability: more facts. *Science* (80-) 22, 1029–1031 (1983).
- Beran, M. J. Chimpanzees (*Pan troglodytes*) respond to nonvisible sets after one-by-one addition and removal of items. *J. Comp. Psychol.* 118, 25–36 (2004).
- Beran, M. J. Rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) enumerate large and small sequentially presented sets of items using analog numerical representations. *J. Exp. Psychol. Anim. Behav. Process.* 33, 42–54 (2007).
- Beran, M. J. The evolutionary and developmental foundations of mathematics. *PLoS Biol.* 6, 221–223 (2008).
- Bleeker, M. M. & Jacobs, J. E. Achievement in math and science: Do mothers' beliefs matter 12 years later? *J. Educ. Psychol.* 96, 97–109 (2004).

- Cantlon, J. F. & Brannon, E. M. Basic math in monkeys and college students. *PLoS Biol.* 5, 2912–2919 (2007).
- Cantlon, J. F. & Brannon, E. M. Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychol. Sci.* 17, 401–406 (2006).
- Cantlon, J. F. & Li, R. Neural activity during natural viewing of Sesame Street statistically predicts test scores in early childhood. *PLoS Biol.* 11, e1001462 (2013).
- Casey, M. B., Nuttall, R., Pezaris, E. & Benbow, C. P. The influence of spatial ability on gender differences in mathematics college entrance test scores across diverse samples. *Dev. Psychol.* 31, 697–705 (1995).
- Cordes, S., Gelman, R., Gallistel, C. R. & Whalen, J. Variability signatures distinguish verbal from nonverbal counting for both large and small numbers. *Psychon. Bull. Rev.* 8, 698–707 (2001).
- De Smedt, B., Noël, M.-P., Gilmore, C. & Ansari, D. How do symbolic and non-symbolic numerical magnitude processing skills relate to individual differences in children’s mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Trends Neurosci. Educ.* 2, 48–55 (2013).
- Doyle, R. A. & Voyer, D. Stereotype manipulation effects on math and spatial test performance: a meta-analysis. *Learn. Individ. Differ.* 47, 103–116 (2016).
- Ecuyer-Dab, I. & Robert, M. Have sex differences in spatial ability evolved from male competition for mating and female concern for survival? *Cognition* 91, 221–257 (2004).
- Elliott, L., Braham, E. J. & Libertus, M. E. Understanding sources of individual variability in parents’ number talk with young children. *J. Exp. Child Psychol.* 159, 1–15 (2017).
- Feigenson, L., Libertus, M. E. & Halberda, J. Links between the intuitive sense of number and formal mathematics ability. *Child Dev. Perspect.* 7, 74–79 (2013).
- Frome, P. M. & Eccles, J. S. Parents’ influence on children’s achievement-related perceptions. *J. Pers. Soc. Psychol.* 74, 435–452 (1998).
- Gallistel, C. R. & Gelman, R. Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 44, 43–74 (1992).
- Gallistel, C. R. & Gelman, R. Preverbal counting and computation. *Cognition* 44, 43–74 (1992).
- Gallistel, C. R. Animal cognition: the representation of space, time and number. *Annu. Rev. Psychol.* 40, 155–189 (1989).
- Ganley, C. M. et al. An examination of stereotype threat effects on girls’ mathematics performance. *Dev. Psychol.* 49, 1886–1897 (2013).
- Geary, D. C. A model for representing gender differences in the pattern of cognitive abilities. *Am. Psychol.* 44, 1155–1156 (1989).
- Geary, D. C. Sexual selection and sex differences in mathematical abilities. *Behav. Brain Sci.* 19, 229–284 (1996).
- Gelman, R. & Gallistel, C. R. *The Child’s Understanding of Number* (Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978).
- Ginsburg, H. & Baroody, A. J. *Test of Early Mathematics Ability, 3rd Edition (TEMA-3)*. (PRO-ED, Austin, TX, 2003).
- Halberda, J. & Feigenson, L. Developmental change in the acuity of the ‘number sense’: The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Dev. Psychol.* 44, 1457–1465 (2008).
- Halberda, J., Mazocco, M. M. M. & Feigenson, L. Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature* 455, 665–668 (2008).
- Halpern, D. F. et al. The science of sex differences in science and mathematics. *Psychol. Sci. Public Interest.* 8, 1–51 (2007).
- Hedges, L. & Nowell, A. Sex differences in mental test scores, variability, and numbers of high-scoring individuals. *Science* (80-) 269, 41–45 (1995).
- Hyde, J. S. & Linn, M. C. Gender similarities in mathematics and science. *Science* (80-) 314, 599–600 (2006).
- Hyde, J. S. Gender similarities and differences. *Annu. Rev. Psychol.* 65, 373–398 (2014).
- Hyde, J. S. The gender similarities hypothesis. *Am. Psychol.* 60, 581–592 (2005).

- Hyde, J. S., Fennema, E. & Lamon, S. J. Gender differences in mathematics performance—a metaanalysis. *Psychol. Bull.* 107, 139–155 (1990).
- Hyde, J. S., Lindberg, S. M., Linn, M. C., Ellis, A. B. & Williams, C. C. Gender similarities characterize math performance. *Science* (80-) 321, 494–495 (2008).
- Izard, V., Sann, C., Spelke, E. S. & Streri, A. Newborn infants perceive abstract numbers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106, 10382–10385 (2009).
- Jacobs, J. E. & Eccles, J. S. The impact of mothers' gender-role stereotypic beliefs on mothers' and children's ability perceptions. *J. Pers. Soc. Psychol.* 63, 932–944 (1992).
- Jacobs, J. E. Influence of gender stereotypes on parent and child mathematics attitudes. *J. Educ. Psychol.* 83, 518–527 (1991).
- Jones, M. G. & Wheatley, J. Gender differences in teacher-student interactions in science classrooms. *J. Res. Sci. Teach.* 27, 861–874 (1990).
- Jordan, K. E. & Brannon, E. M. The multisensory representation of number in infancy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 3486–3489 (2006).
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Olah, L. N. & Locuniak, M. N. Number sense growth in kindergarten: a longitudinal investigation of children at-risk for mathematics difficulties. *Child Dev.* 77, 153–177 (2006).
- Jussim, L. & Eccles, J. S. Teacher expectations II: constructions and reflection of student achievement. *J. Pers. Soc. Psychol.* 63, 947–961 (1992).
- Kelly, S. N. Teachers' useful skills. *J. Res. Music Educ.* 46, 374–383 (1998).
- Kersey, A. J. & Cantlon, J. F. Neural tuning to numerosity relates to perceptual tuning in 3- to 6-year-old children. *J. Neurosci.* 37, 512–522 (2017).
- Kimball, M. M. A new perspective on women's math achievement. *Psychol. Bull.* 105, 198–214 (1989).
- Le Corre, M. & Carey, S. One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition* 105, 395–438 (2007).
- Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A. & Langrock, A. Early sex differences in spatial skill. *Dev. Psychol.* 35, 940–949 (1999).
- Libertus, K. Preferential looking coder. Available at: <http://www.duke.edu/~k141> (2008).
- Libertus, M. E. & Brannon, E. M. Stable individual differences in number discrimination in infancy. *Dev. Sci.* 13, 900–906 (2010).
- Libertus, M. E., Feigenson, L. & Halberda, J. Numerical approximation abilities correlate with and predict informal but not formal mathematics abilities. *J. Exp. Child Psychol.* 116, 829–838 (2013).
- Libertus, M. E., Feigenson, L. & Halberda, J. Preschool acuity of the approximate number system correlates with school math ability. *Dev. Sci.* 14, 1292–1300 (2011).
- Lindberg, S. M., Hyde, J. S., Petersen, J. L. & Linn, M. C. New trends in gender and mathematics performance: a meta-analysis. *Psychol. Bull.* 136, 1123–1135 (2010).
- Lipton, J. S. & Spelke, E. S. Origins of the number sense: large-number discrimination in human infants. *Psychol. Sci.* 14, 396–401 (2003).
- Lipton, J. S. & Spelke, E. S. Preschool children's mapping of number words to nonsymbolic numerosities. *Child Dev.* 76, 978–988 (2005).
- Marceau, K., Ram, N., Houts, R. M., Grimm, K. J. & Susman, E. J. Individual differences in boys' and girls' timing and tempo of puberty: Modeling development with nonlinear growth models. *Dev. Psychol.* 47, 1389–1409 (2011).
- Moore, D. S. & Johnson, S. P. Mental rotation in human infants. *Psychol. Sci.* 19, 1063–1066 (2008).
- Nosek, B. A. et al. National differences in gender-science stereotypes predict national sex differences in science and math achievement. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106, 10593–10597 (2009).
- Parsons, J. E., Adler, T. F. & Kaczala, C. M. Socialization of achievement attitudes and beliefs: parental influences. *Child Dev.* 53, 310–321 (1982).
- Piazza, M., Izard, V., Pinel, P., Le Bihan, D. & Dehaene, S. Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus. *Neuron* 44, 547–555 (2004).

- Pica, P., Lemer, C., Izard, V. & Dehaene, S. Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science* (80-.) 306, 499–503 (2004).
- Pinker, S. & Spelke, E. S. The Science of Gender and Science. Pinker vs. Spelke: A Debate (2005). www.edge.org/3rd_culture/debate05/debate05_index.html
- Reilly, D., Neumann, D. L. & Andrews, G. Investigating gender differences in mathematics and science: Results from the 2011 Trends in Mathematics and Science Survey. *Res. Sci. Educ.* 1–26 (2017)..
- Schuirmann, D. J. A comparison of the Two One-Sided Tests Procedure and the Power Approach for assessing the equivalence of average bioavailability. *J. Pharmacokinet. Biopharm.* 15, 657–680 (1987).
- Sherry, D. F. & Hampson, E. Evolution and the hormonal control of sexually-dimorphic spatial abilities in humans. *Trends Cogn. Sci.* 1, 50–56 (1997).
- Siegler, R. S. & Mu, Y. Chinese children excel on novel mathematics problems even before elementary school. *Psychol. Sci.* 19, 759–763 (2008).
- Spelke, E. S. & Ellison, K. in *The Science on Women and Science* (ed. Sommers, C. H.) 24–53 (The AEI Press, Washington, DC, 2009).
- Starkey, P., Spelke, E. S. & Gelman, R. Numerical abstraction by human infants. *Cognition* 36, 97–127 (1990).
- Starr, A., Libertus, M. E. & Brannon, E. M. Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110, 18116–18120 (2013).
- Steele, C. M. A threat in the air. How stereotypes shape intellectual identity and performance. *Am. Psychol.* 52, 613–629 (1997).
- Stevenson, W., Lee, S. & Stigler, J. W. Mathematics achievement of Chinese, Japanese, and American children. *Science* (80-.) 231, 693–699 (1986).
- Stoet, G. & Geary, D. C. Sex differences in mathematics and reading achievement are inversely related: within- and across-nation assessment of 10 years of PISA data. *PLoS ONE* 8, e57988 (2013).
- Strauss, M. S. & Curtis, L. E. Infant perception of numerosity. *Child Dev.* 52, 1146–1152 (2016).
- Tibber, M. S. et al. Sensitivity to numerosity is not a unique visuospatial psychophysical predictor of mathematical ability. *Vision Res.* 89, 1–9 (2013).
- Vo, V. A., Li, R., Kornell, N., Pouget, A. & Cantlon, J. F. Young children bet on their numerical skills: metacognition in the numerical domain. *Psychol. Sci.* 25, 1712–1721 (2013).
- Whalen, J., Gallistel, C. R. & Gelman, R. Nonverbal counting in humans: the psychophysics of number representation. *Psychol. Sci.* 10, 130–137 (1999).
- Wilkinson, L., Task Force on Statistical Inference American Psychological. Statistical methods in psychology journals: guidelines and explanations. *Am. Psychol.* 54, 594–604 (1999).
- Wynn, K. Children’s acquisition of the number words and the counting system. *Cogn. Psychol.* 24, 220–251 (1992).
- Wynn, K. Children’s understanding of counting. *Cognition* 36, 155–193 (1990).
- Xu, F. & Spelke, E. S. Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 74, B1–B11 (2000).

TRANSLATED VERSION: SPANISH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUCIDA: ESPAÑOL

A continuación se muestra una traducción aproximada de las ideas presentadas anteriormente. Esto se hizo para dar una comprensión general de las ideas presentadas en el documento. Por favor, disculpe cualquier error gramatical y no responsabilite a los autores originales de estos errores.

INTRODUCCIÓN

A veces se cree que las diferencias de género adultas en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la representación profesional en matemáticas (STEM) se originan en diferencias innatas entre los sexos en aptitud para los campos STEM.^{1,2,3,4,5} Las diferencias de género podrían ser diferencias biológicas que están presentes al nacer, o podrían surgir con el tiempo con la maduración.⁴ En este estudio, nos centramos en las diferencias de género en la primera infancia. Aunque el talento STEM para adultos se deriva de un gran conjunto de capacidades cognitivas y es poco probable que sea rastreable a un solo dominio o habilidad, si las diferencias intrínsecas entre los sexos son de hecho una causa fundamental para la supopresentación de las mujeres en STEM, una expectativa es que las diferencias de género en la cognición cuantitativa surjan temprano en el desarrollo humano.

Comprender la naturaleza de las diferencias de género en las matemáticas ha sido un foco de investigación durante muchos años. Sin embargo, las diferencias en las mediciones, análisis y muestras de participantes han dado lugar a una variedad de hallazgos. Por un lado, pueden surgir diferencias en el desempeño medio de las tareas matemáticas,^{6,7,8} y pequeñas diferencias a favor de los niños se han reportado en una serie de habilidades numéricas al final del jardín de infantes.⁹ Aunque la mayoría de los estudios de niños en edad escolar que encuentran diferencias de género reportan un mayor rendimiento en los niños, algunos estudios sólo han encontrado ventajas para los niños cuando las tareas implican más razonamiento o son más espaciales en la naturaleza.² En cambio, las niñas de la escuela primaria a veces muestran una ventaja en las tareas computacionales y cuando el rendimiento se evalúa con las calificaciones escolares.¹¹ Otros estudios no encuentran diferencias, diferencias triviales o diferencias en los niños mayores, pero no los niños más pequeños.^{10,12,13,14} Las diferencias de grupo a veces se pueden atribuir a los efectos de la cohorte. Por ejemplo, algunos estudios muestran que las diferencias entre los niños estadounidenses y chinos en matemáticas dependen de la generación o la escuela^{15,16} y un estudio reciente mostró que la fuerza de cualquier ventaja en matemáticas para los niños y niñas varía según el país.¹⁷ Las diferencias de género también pueden surgir en la variabilidad del rendimiento matemático entre niños y niñas. Cuando se observan estas diferencias de género en la cognición, los niños tienden a mostrar una mayor variabilidad que las niñas, lo que resulta en más niños que niñas en los extremos de alto rendimiento y bajo rendimiento de las distribuciones.^{6,7,8,17,18} Esto puede hacer que las diferencias de género en el rendimiento medio se ausentan en el nivel de grupo^{12,14} pero detectables en los extremos de alto rendimiento y bajo rendimiento de las distribuciones.¹⁸

Otro obstáculo importante en la evaluación de esas diferencias de género en las métricas matemáticas basadas en la escuela es que las influencias socioculturales, como la amenaza de estereotipos y la influencia de los maestros y los padres, hacen difícil burlarse de las diferencias de género en la experiencia de las diferencias en las habilidades intrínsecas.^{19,20,21,22,23,23,24,25,26,27,28,29} Por ejemplo, los niños en edad escolar podrían mostrar diferencias de género en las habilidades matemáticas porque a las niñas se les da una exposición menor o diferente a las matemáticas que los niños o se les dice que las matemáticas "no son para las niñas". Por lo tanto, no está claro si las diferencias en las habilidades matemáticas se basan en diferencias intrínsecas en el razonamiento numérico en la primera infancia o si las diferencias de género surgen como resultado de las diferencias en la exposición cultural a conceptos matemáticos. Comprender las fuentes de cualquier diferencia de género es crucial para optimizar los planes de estudio de matemáticas y ciencias de la primera infancia.

Investigaciones anteriores³⁰ describieron evidencia contra la existencia de diferencias de género en el razonamiento visuospatial en la primera infancia. A lo largo de seis tareas, niños y niñas realizaron de manera similar en medidas de seguimiento de objetos (la capacidad de seguir múltiples objetos en movimiento independientes), procesamiento numérico temprano y habilidades geométricas básicas (Fig. 1). Esos datos no revelaron diferencias de género en algunas capacidades cognitivas básicas de los niños de

3 a 10 años. Sin embargo, esa investigación deja áreas clave abiertas para investigar las diferencias de género en el procesamiento numérico básico, incluyendo patrones de examinar la información cuantitativa durante la infancia, la agudeza temprana de la discriminación durante el procesamiento de la cantidad y el aprendizaje formal de las matemáticas.

Examinamos la cognición matemática temprana de los niños durante la infancia y la primera infancia para proporcionar información sobre si las diferencias de género son evidentes en la primera infancia. Con la excepción de los datos infantiles, estos datos se recopilaron como parte de las baterías de prueba estándar que miden las habilidades de procesamiento numérico. Aunque reconocemos que hay otras formas de medir el pensamiento matemático en este rango de edad, combinamos datos publicados^{31,32,33,34,35} con datos inéditos de nuestros registros longitudinales que midieron el rendimiento de los niños en tres áreas clave de procesamiento numérico de nuestra batería de prueba estándar de cognición numérica de la primera infancia. En primer lugar, evaluamos la percepción de la numerosidad y la agudeza en la infancia y la infancia. La percepción de numerosidad nos permite estimar la cantidad de un conjunto sin saber exactamente cuántos elementos hay en el conjunto: medimos la agudeza de los niños para detectar diferencias en la numerosidad. A continuación, examinamos dos aspectos de la adquisición de recuento verbal durante el preescolar, que es la comprensión exacta emergente más temprana de las cantidades. Finalmente, evaluamos las matemáticas basadas en la escuela durante los primeros años de escolarización cuando los niños aprenden a manipular números. Las matemáticas basadas en la escuela se refieren a pruebas completas y estandarizadas de una variedad de habilidades matemáticas, incluyendo el dominio del recuento, el conocimiento numérico, la comparación y transformación de conjuntos concretos, los problemas de palabras con comparaciones numéricas y transformaciones aritméticas básicas, y conceptos de parte integral. Debido a que las pruebas se basan en la edad, las tareas completadas por cada niño variaron. Estos datos son en gran medida inéditos, pero se combinaron con datos publicados^{31,32,33,34,35} con el fin de examinar las diferencias de género en más de 500 niños.

Realizamos varios análisis para probar las diferencias estadísticas y la equivalencia estadística en el rendimiento, la aparición o desaparición de diferencias con la edad, y las diferencias estadísticas en la variabilidad entre los grupos. Se evaluaron las similitudes y diferencias entre el desempeño de niños y niñas utilizando pruebas t de muestras independientes para identificar diferencias estadísticas en el rendimiento medio y las dos pruebas de equivalencia de Schuirmann de equivalencia³⁶ para identificar la equivalencia estadística en el rendimiento medio (similitud dentro de 1/2 desviación estándar (s.d.) De los datos del grupo; implementación de esta prueba para los puntajes SAT-Math.³⁷) Las pruebas tanto para las diferencias estadísticas como para la equivalencia estadística son importantes. Las pruebas t no significativas sólo nos permiten concluir que no hay pruebas suficientes para rechazar la suposición de que el rendimiento es equivalente entre grupos. Sin embargo, esto no significa necesariamente que los grupos sean estadísticamente equivalentes. Al incluir pruebas de equivalencia, podemos determinar si la falta de una diferencia significativa entre grupos refleja distribuciones estadísticamente equivalentes de puntuaciones entre grupos. Hasta la fecha, no se han realizado pruebas de equivalencia en los datos sobre las habilidades matemáticas en la primera infancia, pero estas pruebas son especialmente importantes para informar la "Hipótesis de similitudes de género".^{38,39} Para determinar si los resultados de la prueba t fueron consistentes a lo largo de la edad, también realizamos regresiones lineales simultáneas con la edad, el género y su interacción introducida como predictores. Un efecto principal del género sugeriría que hay una diferencia entre los niños y las niñas al controlar la edad y una interacción sugeriría que las diferencias pueden surgir sólo en un extremo del rango de edad. Además de evaluar el rendimiento medio de los niños, determinamos si los niños y las niñas mostraron la misma varianza en el rendimiento utilizando la prueba de Levene. Las pruebas de igualdad de varianza son particularmente importantes a la luz de trabajos previos que sugieren que hay hombres más de alto rendimiento y bajo rendimiento que las mujeres porque los hombres muestran una mayor variabilidad en las medidas de procesamiento cuantitativo.⁴ Para mayor exhaustividad, las pruebas de equivalencia estadística y las diferencias en la variabilidad en las puntuaciones controladas para la edad se informan en el Suplemento 1 (las diferencias estadísticas en las puntuaciones controladas por edad deben ser evidentes en los análisis de regresión). Por último, a efectos de visualización, calculamos las curvas de crecimiento a nivel de grupo después del trabajo anterior.⁴⁰

Debido a que estas curvas se calcularon a nivel de grupo, no probamos estadísticamente las diferencias entre las tasas de crecimiento de niños y niñas y simplemente proporcionamos estas curvas como una forma de visualizar los cambios en el rendimiento con la edad.

A lo largo de los tres aspectos de la cognición matemática temprana evaluada aquí, esperaríamos que si los niños y las niñas realmente difieren en sus capacidades para el procesamiento numérico, debemos encontrar evidencia de diferencias estadísticas en el rendimiento medio (pruebas t de muestras independientes), y deberíamos ver que este efecto es consistente a lo largo de la edad (efecto principal del género en las regresiones lineales) o impulsado por un extremo del rango de edad (interacción entre el género y la edad en la regresión lineal). Sin embargo, el análisis transversal indica que no hay diferencias de género sólidas en el procesamiento numérico temprano, incluida la percepción de la numerosidad preverbal, la adquisición de recuento y la capacidad matemática basada en la escuela.

CONCLUSIÓN

Los recientes debates públicos en torno a la suporrepresentación de las mujeres en los campos STEM han sugerido que las diferencias en las opciones de carrera entre hombres y mujeres podrían deberse a diferencias intrínsecas en la aptitud en los ámbitos STEM. Esta afirmación predeciría que las diferencias de género deben ser evidentes desde el principio de la infancia. Nuestros datos, recopilados a través de estudios de más de 500 bebés y niños, proporcionan un análisis exhaustivo del efecto del género en la cognición matemática temprana, y muestran que, de hecho, no hay diferencias de género sustantivas en las habilidades de pensamiento matemático durante la infancia o la primera infancia. Los niños y las niñas se desempeñan de manera equivalente en la percepción de la numerosidad, la adquisición contando y los primeros conceptos matemáticos basados en la escuela. Nuestros resultados son consistentes con los de un estudio previo de casi 200 niños que fueron probados sobre el conocimiento del procedimiento de escrutinio utilizando la tarea "Give-N" y no encontraron evidencia de una diferencia estadística entre niños y niñas.³⁰ Además, los conceptos matemáticos escolares tempranos que se basan en el conocimiento de los principios lógicos de contar no mostraron diferencias basadas en el género, lo que sugiere que los niños y las niñas aprendan matemáticas de manera similar incluso más allá del conteo de la adquisición, en la educación temprana. Esta interpretación es consistente con un análisis previo de tres millones de niños de escuela primaria que muestran que las diferencias de rendimiento de las pruebas escolares en matemáticas entre niños y niñas son inexistentes o triviales durante la escuela primaria, pero aumentan constantemente a través de la escuela secundaria y la universidad.^{10,13} Por lo tanto, los niños y niñas comienzan la educación con habilidades equivalentes de pensamiento matemático temprano.

Aunque estos resultados son consistentes con algunos trabajos previos en este rango de edad,^{10,12,30} estos resultados contrastan con otros trabajos en este rango de edad. Por ejemplo, una pequeña ventaja para los niños en una variedad de habilidades numéricas para el final del jardín de infantes se ha reportado previamente.⁹ Sin embargo, las trayectorias de la curva de crecimiento que se ajustan para cada prueba sugieren que estas diferencias no eran consistentes en cada punto de tiempo evaluado durante el jardín de infantes. Para algunas pruebas, como la estimación numérica y las habilidades de conteo, los niños y las niñas eran indistinguibles en el punto de tiempo inicial. Para otras pruebas, como patrones, reconocimiento de números y combinaciones de números, niños y niñas tenían puntuaciones superpuestas en los puntos de tiempo intermedios. Esto demuestra que incluso cuando se detectan diferencias de género, son inconsistentes y destaca la importancia del trabajo futuro que mide las diferencias de género utilizando un enfoque longitudinal. En contraste, su trabajo encontró diferencias consistentes en la capacidad matemática basada en el estatus socioeconómico.⁹ Aunque las diferencias de género entre los estados socioeconómicos no pudieron evaluarse en el presente estudio, es importante tener esto en cuenta en el trabajo futuro. Comparar el presente estudio con el trabajo anterior también enfatiza la realidad de que hay muchas maneras de medir el pensamiento matemático en la primera infancia y las diferencias de grupo podrían variar entre tareas, cohortes y edad.

Es poco probable que la ausencia de diferencias estadísticas entre los principales hitos del desarrollo de la cognición matemática temprana se deba al tamaño de la muestra. Los análisis de potencia sugieren

que, dados los tamaños de las muestras analizadas aquí, deberíamos haber sido capaces de detectar tamaños de efectos pequeños a medianos que van desde el d de Cohen a 0,34 a 0,65 (80% de potencia, p a 0,05; Comparación de numerosidad infantil (tiempo de aspecto): d a 0,65; Comparación de la numerosidad en la primera infancia (w): d a 0,37; Recitación de la lista de recuentos ("¿Qué tan alto?" tarea): d - 0,47; Principios de conteo (tarea "Dar-N"): d a 0,52; Conceptos Matemáticos (TEMA): d a 0,34, (Puntuaciones Matemáticas Formales/Informales): d a 0,40). Es importante destacar que, incluso si existen efectos más pequeños, es poco probable que se manifiesten de manera fiable, significativa o consistente en los niños. Se debe tener precaución al interpretar los pequeños efectos en la muestra grande para asegurarse de que su importancia no es exagerada.^{13,75}

El origen de las diferencias de género adultas en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas probablemente tiene una explicación sociológica compleja^{2,4} y no puede reducirse fácilmente a diferencias intrínsecas en la aptitud en la primera infancia. Las mujeres han sido desalentadas de participar en matemáticas y ciencias, y hay un largo legado de sexismo en lo académico. Se ha demostrado que la amenaza de estereotipos tiene efectos nocivos en el rendimiento matemático de las niñas y las mujeres^{19,20} (pero véase Ganley et al.⁷⁶), y la fuerza de los estereotipos implícitos que asocian a los hombres sobre las mujeres con la ciencia predijo diferencias de género en el logro matemático de octavo grado.⁷⁷ Estudios anteriores han encontrado que los profesores de ciencias y matemáticas son más propensos a alentar a los niños a hacer y responder preguntas y responder preguntas, explicar conceptos a los niños, alabanza chicos, y pasar más tiempo interactuando con los niños.^{22,23,24,25} Otra fuente para las diferencias de género incluye la percepción de los padres de las habilidades de los niños.²⁶ Los padres que creían que los hombres son superiores en matemáticas dieron estimaciones significativamente más altas de la capacidad matemática a sus hijos que a sus hijas incluso cuando controlan las puntuaciones reales de los niños.^{27,28} Varios estudios también han encontrado que las expectativas de los padres sobre las habilidades y el éxito de los niños están correlacionadas con los autoconceptos de sus hijos de sus propias habilidades y más tarde rendimiento.^{26,29} De hecho, las percepciones de los padres sobre las habilidades de los niños pueden influir en las creencias de los niños en sus habilidades más que en los grados.⁷⁸ Además, se ha demostrado que las percepciones de los maestros sobre la capacidad matemática de los estudiantes predicen puntuaciones de logros matemáticos posteriores cuando se controlan medidas anteriores de habilidad.²¹ Tomadas en conjunto, hay una fuerte influencia cultural en el logro de las matemáticas durante toda la infancia. Expulsar el estereotipo de que los niños tienen una ventaja intrínseca para las matemáticas en la primera infancia puede conducir a una mayor exposición matemática y a una mejor percepción de los padres y de la sociedad, lo que resulta en un mejor éxito en las matemáticas para las niñas.

Los hallazgos presentados aquí proporcionan pruebas sólidas de que los niños y las niñas tienen facultades cognitivas comparables para razonar sobre las matemáticas durante la primera infancia. Aunque sigue siendo posible que las diferencias de género en la participación STEM surjan más adelante en el desarrollo de la maduración,⁴ en otras habilidades cognitivas,^{79,80} o de las interacciones entre los estereotipos culturales, la formación y los comportamientos sexualmente dimórficos,^{4,81,82} hay evidencia convincente de que las habilidades de hombres y mujeres están moldeadas por diferentes experiencias culturales que afectan su autoimagen, tratamiento y oportunidades, y poca evidencia para apoyar las afirmaciones de diferencias de género intrínsecas o biológicas en la cognición matemática temprana.

TRANSLATED VERSION: FRENCH

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSION TRADUITE: FRANÇAIS

Voici une traduction approximative des idées présentées ci-dessus. Cela a été fait pour donner une compréhension générale des idées présentées dans le document. Veuillez excuser toutes les erreurs grammaticales et ne pas tenir les auteurs originaux responsables de ces erreurs.

INTRODUCTION

On pense parfois que les différences entre les sexes adultes dans les domaines des sciences, de la technologie, de l'ingénierie et des mathématiques (STEM) proviennent de différences innées entre les sexes en matière d'aptitude pour les domaines stem.^{1,2,3,4,5} Les différences entre les sexes pourraient être des différences biologiques qui sont présentes à la naissance, ou elles pourraient émerger au fil du temps avec la maturation.⁴ Dans cette étude, nous nous concentrons sur les différences entre les sexes dans la petite enfance. Bien que le talent adulte stem soit dérivé d'une grande série de capacités cognitives et qu'il soit peu probable qu'il soit traçable à un seul domaine ou compétence, si les différences intrinsèques entre les sexes sont en effet une cause profonde de la sous-représentation des femmes dans les STEM, on s'attend à ce que les différences entre les sexes dans la cognition quantitative apparaissent tôt dans le développement humain.

La compréhension de la nature des différences entre les sexes en mathématiques est au centre de la recherche depuis de nombreuses années. Toutefois, les différences dans les mesures, les analyses et les échantillons des participants ont mené à une variété de résultats. D'une part, des différences peuvent émerger dans la performance moyenne sur les tâches mathématiques,^{6,7,8} et de petites différences en faveur des garçons ont été rapportées dans une gamme de qualifications numériques à la fin de la maternelle.⁹ Bien que la plupart des études des enfants d'âge scolaire qui trouvent des différences de genre rapportent des performances plus élevées chez les garçons, quelques études ont seulement trouvé des avantages pour des garçons quand les tâches impliquent plus de raisonnement ou sont plus spatiales dans la nature.^{2,10} En revanche, les filles de l'école primaire montrent parfois un avantage sur les tâches de calcul et lorsque le rendement est évalué à l'aide des notes scolaires.¹¹ d'autres études ne trouvent aucune différence, différences insignifiantes ou différences chez les enfants plus âgés, mais pas chez les enfants plus jeunes.^{10,12,13,14} Les différences de groupe peuvent parfois être attribuées aux effets de cohorte. Par exemple, certaines études montrent que les différences entre les enfants américains et chinois en mathématiques dépendent de la génération ou de l'école.^{15,16} et une étude récente a montré que la force de tout avantage en mathématiques pour les garçons par rapport aux filles varie selon les pays.¹⁷ Les différences entre les sexes peuvent également émerger dans la variabilité des performances mathématiques entre les garçons et les filles. Lorsque ces différences entre les sexes dans la cognition sont observées, les garçons ont tendance à montrer une plus grande variabilité que les filles, ce qui entraîne l'absence d'un plus grand nombre de garçons que de filles aux extrémités des distributions très performantes et peu performantes.^{6,7,8,17,18} Cela peut entraîner l'absence de différences entre les sexes dans la performance moyenne au niveau du groupe^{12,14}, mais détectable aux fins les plus performantes et les moins performantes des distributions¹⁸.

Un autre obstacle majeur dans l'évaluation de ces différences entre les sexes sur les paramètres mathématiques en école est que les influences socioculturelles, telles que la menace stéréotypée et l'influence des enseignants et des parents, il est difficile de distinguer les différences d'expérience entre les sexes en raison des différences de capacités intrinsèques.^{19,20,21,22,23,23,25,26,27,27,28,29} Par exemple, les enfants d'âge scolaire pourraient montrer des différences entre les sexes dans les mathématiques capacités parce que les filles sont moins ou différentes exposition aux mathématiques que les garçons ou on leur dit que « les mathématiques ne sont pas pour les filles ». Par conséquent, il n'est pas clair si les différences dans les capacités mathématiques sont enracinées dans les différences intrinsèques dans le raisonnement numérique dans la petite enfance ou si les différences entre les sexes apparaissent en raison de différences dans l'exposition culturelle aux concepts mathématiques. Il est essentiel de comprendre les

sources des différences entre les sexes pour optimiser les programmes de mathématiques et de sciences de la petite enfance.

Des recherches antérieures³⁰ ont décrit des preuves contre l'existence de différences entre les sexes dans le raisonnement visuospatial dans la petite enfance. Au cours de six tâches, les garçons et les filles ont effectué de la même façon des mesures de suivi des objets (la capacité de suivre plusieurs objets mobiles indépendants), le traitement numérique précoce et les capacités géométriques de base (fig. 1). Ces données n'ont révélé aucune différence entre les sexes dans certaines capacités cognitives de base des enfants âgés de 3 à 10 ans. Toutefois, cette recherche laisse des domaines clés ouverts pour étudier les différences entre les sexes dans le traitement numérique de base, y compris les modèles d'examen de l'information quantitative pendant la petite enfance, l'acuité de discrimination précoce pendant le traitement de la quantité, et l'apprentissage formel des mathématiques.

Nous avons examiné la cognition mathématique précoce des enfants pendant la petite enfance et la petite enfance afin de fournir un aperçu de la question de savoir si les différences entre les sexes sont évidentes dans la petite enfance. À l'exception des données sur les nourrissons, ces données ont été recueillies dans le cadre de batteries d'essai standard mesurant les compétences numériques de traitement. Bien que nous reconnaissons qu'il existe d'autres façons de mesurer la pensée mathématique dans cette tranche d'âge, nous avons combiné les données publiées^{31,32,33,34,35} avec des données non publiées de nos dossiers longitudinaux qui mesuraient les performances des enfants dans trois domaines clés du traitement numérique à partir de notre batterie d'essai standard de la cognition numérique de la petite enfance. Tout d'abord, nous avons évalué la perception de la numération et l'acuité dans l'enfance et l'enfance. La perception de la numération nous permet d'estimer la quantité d'un ensemble sans savoir exactement combien d'éléments se trouvent dans l'ensemble — nous avons mesuré l'acuité des enfants pour détecter les différences de numération. Ensuite, nous avons examiné deux aspects de l'acquisition de comptage verbal au cours de l'école maternelle, qui est la première compréhension exacte émergente des quantités. Enfin, nous avons évalué les mathématiques en classe au cours des premières années de scolarité lorsque les enfants apprennent à manipuler les chiffres. Les mathématiques en école se réfèrent à des tests complets et normalisés d'une variété de compétences mathématiques, y compris le comptage des compétences, les connaissances numériques, la comparaison et la transformation des ensembles concrets, les problèmes de mots avec les comparaisons numériques et les transformations arithmétiques de base, et les concepts à part entière. Étant donné que les tests sont basés sur l'âge, les tâches accomplies par chaque enfant variaient. Ces données sont en grande partie non publiées, mais ont été combinées avec des données publiées^{31,32,33,34,35} afin d'examiner les différences entre les sexes chez plus de 500 enfants.

Nous avons effectué plusieurs analyses pour tester les différences statistiques et l'équivalence statistique dans la performance, l'émergence ou la disparition des différences avec l'âge, et les différences statistiques dans la variabilité entre les groupes. Les similitudes et les différences entre le rendement des garçons et des filles ont été évaluées à l'aide d'échantillons indépendants t tests pour identifier les différences statistiques dans la performance moyenne et les deux tests unilatéraux de Schuirman d'équivalence³⁶ pour identifier l'équivalence statistique dans la performance moyenne (similitude dans 1/2 écart type (s.d.) Des données de groupe; mise en œuvre de ce test pour les scores SAT-Math.³⁷) Test pour les différences statistiques et l'équivalence statistique est important. Les tests t non significatifs nous permettent seulement de conclure qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour rejeter l'hypothèse selon laquelle le rendement est équivalent entre les groupes. Toutefois, cela ne signifie pas nécessairement que les groupes sont statistiquement équivalents. En incluant des tests d'équivalence, nous pouvons déterminer si l'absence d'une différence significative entre les groupes reflète des distributions statistiquement équivalentes de scores entre les groupes. À ce jour, les tests d'équivalence n'ont pas été effectués sur des données sur les capacités mathématiques dans la petite enfance, mais ces tests sont particulièrement importants pour informer l'hypothèse des similitudes entre les sexes. ^{38,39} Pour déterminer si les résultats du test t étaient cohérents selon l'âge, nous avons également effectué des régressions linéaires simultanées avec l'âge, le sexe et leur interaction en tant que prédicteurs. Un effet principal du sexe suggère qu'il y a une différence entre les garçons et les filles lorsqu'il s'agit de contrôler l'âge et qu'une interaction suggère que les différences ne peuvent émerger qu'à une extrémité de la tranche d'âge. En plus d'évaluer la

performance moyenne des enfants, nous avons déterminé si les garçons et les filles présentaient une variance égale dans la performance à l'aide du test de Levene. Les tests d'égalité de variance sont particulièrement importants à la lumière des travaux antérieurs qui suggèrent qu'il y a plus d'hommes performants et peu performants que les femmes parce que les mâles montrent une plus grande variabilité dans les mesures du traitement quantitatif.⁴ Pour la rigueur, des tests d'équivalence statistique et des différences de variabilité sur les scores contrôlés par l'âge sont rapportés dans le Supplément 1 (les différences statistiques dans les scores contrôlés par l'âge devraient être évidentes dans les analyses de régression). Enfin, à des fins de visualisation, nous avons calculé les courbes de croissance au niveau du groupe à la suite des travaux précédents.⁴⁰ Étant donné que ces courbes ont été calculées au niveau du groupe, nous ne testons pas statistiquement les différences entre les taux de croissance des garçons et des filles et fournissons simplement ces courbes comme moyen de visualiser les changements de performance avec l'âge.

Dans les trois aspects de la cognition mathématique précoce évalué ici, nous nous attendrions à ce que si les garçons et les filles diffèrent vraiment dans leurs capacités de traitement numérique, nous devrions trouver des preuves de différences statistiques dans la performance moyenne (tests t d'échantillons indépendants), et nous devrions voir que cet effet est cohérent selon l'âge (principal effet du sexe dans les régressions linéaires) ou conduit par une extrémité de la tranche d'âge (interaction entre le sexe et l'âge dans la régression linéaire). Cependant, l'analyse transversale indique qu'il n'y a pas de différences solides entre les sexes dans le traitement numérique précoce, y compris la perception de la numération préverbal, l'acquisition de comptage et la capacité des mathématiques en école.

CONCLUSION

Les discussions publiques récentes sur la sous-représentation des femmes dans les domaines STEM ont suggéré que les différences dans les choix de carrière entre les hommes et les femmes pourraient être dues à des différences intrinsèques dans les aptitudes dans les domaines STEM. Cette affirmation permettrait de prédire que les différences entre les sexes devraient être évidentes dès le début de l'enfance. Nos données, compilées dans des études menées auprès de plus de 500 nourrissons et enfants, fournissent une analyse complète de l'effet du genre sur la cognition mathématique précoce, et montrent qu'en fait, il n'y a pas de différences substantielles entre les sexes dans les compétences mathématiques de la pensée pendant la petite enfance ou la petite enfance. Les garçons et les filles obtiennent des résultats équivalents en ce qui concerne la perception de la numération, le comptage des acquisitions et les concepts de mathématiques en début d'école. Nos résultats concordent avec ceux d'une étude précédente portant sur près de 200 enfants qui ont été testés sur la connaissance de la procédure de comptage en utilisant la tâche « Give-N » et qui n'ont trouvé aucune preuve d'une différence statistique entre les garçons et les filles³⁰, dans l'enseignement précoce. Cette interprétation est compatible avec une analyse antérieure de trois millions d'enfants d'école primaire montrant que les différences de performance d'essai d'école dans les mathématiques entre les garçons et les filles sont inexistantes ou triviales pendant l'école primaire, mais augmentent régulièrement par l'école secondaire et le collège.^{10,13} Ainsi, les garçons et les filles commencent l'éducation avec des qualifications équivalentes de pensée mathématique tôt.

Bien que ces résultats soient compatibles avec certains travaux antérieurs dans cette tranche d'âge,^{10,12,30} ces résultats contrastent avec d'autres travaux dans cette tranche d'âge. Par exemple, un petit avantage pour les garçons dans une variété de compétences numériques à la fin de la maternelle a été précédemment rapporté.⁹ Cependant, les trajectoires de courbe de croissance qu'ils adaptent pour chaque essai suggèrent que ces différences n'étaient pas cohérentes à chaque temps évalué pendant la maternelle. Pour certains tests, comme l'estimation numérique et les compétences de comptage, les garçons et les filles étaient indiscernables au moment initial. Pour d'autres tests, tels que les modèles, la reconnaissance des nombres et les combinaisons de nombres, les garçons et les filles ont eu des scores qui se chevauchent à mi-temps. Cela montre que même lorsque des différences entre les sexes sont détectées, elles sont incohérentes et soulignent l'importance des travaux futurs qui mesurent les différences entre les sexes à l'aide d'une approche longitudinale. En revanche, leurs travaux ont révélé des différences constantes dans

la capacité mathématique fondée sur le statut socioéconomique.⁹ Bien que les différences entre les sexes entre les statuts socioéconomiques n'aient pas pu être évaluées dans la présente étude, il est important d'en tenir compte dans les travaux futurs. La comparaison de la présente étude avec les travaux antérieurs met également l'accent sur le fait qu'il existe de nombreuses façons de mesurer la pensée mathématique dans la petite enfance et les différences de groupe pourraient varier selon les tâches, les cohortes et l'âge.

L'absence de différences statistiques entre les principaux jalons du développement de la cognition mathématique précoce est peu susceptible d'être due à la taille de l'échantillon. Les analyses de puissance suggèrent que, compte tenu de la taille des échantillons analysés ici, nous aurions dû être en mesure de détecter des tailles d'effets de petite à moyenne allant de d de Cohen = 0,34 à 0,65 (80% de puissance, $p = 0,05$; Comparaison de la numération infantile (temps) : $d = 0,65$; Comparaison de la numération de la petite enfance (w) : $d = 0,37$; Récitation de la liste des comtes (tâche « quelle » : $d = 0,47$; Principes de comptage (tâche « on- » : $d = 0,52$; Concepts mathématiques (TEMA) : $d = 0,34$, (Scores mathématiques formels/informels) : $d = 0,40$). Fait important, même s'il existe des effets plus petits, il est peu probable qu'ils se manifestent de façon fiable, significative ou systématique chez les enfants. Il faut faire preuve de prudence lors de l'interprétation de petits effets dans un grand échantillon afin de s'assurer que leur importance n'est pas exagérée^{13,75}.

L'origine des différences entre les sexes des adultes dans les sciences, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques a probablement une explication sociologique complexe^{2,4} et ne peut pas être facilement réduite à des différences intrinsèques dans l'aptitude dans la petite enfance. Les femmes ont été découragées de participer aux mathématiques et aux sciences, et il y a un long héritage de sexisme chez les universitaires. Il a été démontré que la menace stéréotypée a des effets néfastes sur les performances mathématiques des filles et des femmes^{19,20} (mais voir Ganley et coll.⁷⁶), et la force des stéréotypes implicites associant les hommes aux femmes avec la science prédit des différences entre les sexes dans les résultats mathématiques de 8e année.⁷⁷ Des études antérieures ont constaté que les enseignants en sciences et en mathématiques sont plus susceptibles d'encourager les garçons à poser et à répondre aux questions, à expliquer les concepts aux garçons, à louer les garçons, et à passer plus de temps à interagir avec les garçons.^{22,23,24,25} Une autre source pour les différences entre les sexes comprend la perception parentale des capacités des enfants.²⁶ Les parents qui croyaient que les hommes sont supérieurs aux mathématiques ont donné des estimations sensiblement plus élevées de math-capacité à leurs fils qu'à leurs filles, même lorsqu'ils contrôlent les scores réels des enfants.^{27,28} Plusieurs études ont également constaté que les attentes des parents à l'égard des capacités et du succès des enfants sont corrélées avec les concepts personnels de leurs enfants de leurs propres capacités et plus tard performance.^{26,29} En fait, les perceptions parentales des capacités des enfants peuvent influencer les croyances des enfants dans leurs capacités plus que les notes.⁷⁸ En outre, il a été démontré que les perceptions des enseignants à l'égard de la capacité des élèves en mathématiques prédisent des résultats mathématiques plus tard lorsque les mesures antérieures de la capacité sont contrôlées.²¹ Pris ensemble, il y a une forte influence culturelle sur la réussite en mathématiques tout au long de l'enfance. L'expulsion du stéréotype selon lequel les garçons ont un avantage intrinsèque pour les mathématiques dans la petite enfance peut conduire à une exposition accrue aux mathématiques et à une meilleure perception parentale et sociétale, ce qui se traduit par un meilleur succès en mathématiques pour les filles.

Les résultats présentés ici fournissent des preuves solides que les garçons et les filles ont des facultés cognitives comparables pour le raisonnement sur les mathématiques pendant la petite enfance. Bien qu'il demeure possible que les différences entre les sexes dans la participation aux STEM apparaissent plus tard dans le développement de la maturation⁴ dans d'autres compétences cognitives,^{79,80} ou d'interactions entre les stéréotypes culturels, la formation, et les comportements sexuellement dimorphes,^{4,81,82} il existe des preuves convaincantes que les capacités des hommes et des femmes sont façonnées par différentes expériences culturelles qui affectent leur image de soi, le traitement et les possibilités, et peu de preuves à l'appui des allégations de différences de genre intrinsèques ou biologiques dans les premières

TRANSLATED VERSION: GERMAN

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

ÜBERSETZTE VERSION: DEUTSCH

Hier ist eine ungefähre Übersetzung der oben vorgestellten Ideen. Dies wurde getan, um ein allgemeines Verständnis der in dem Dokument vorgestellten Ideen zu vermitteln. Bitte entschuldigen Sie alle grammatikalischen Fehler und machen Sie die ursprünglichen Autoren nicht für diese Fehler verantwortlich.

EINLEITUNG

Erwachsene geschlechtsspezifische Unterschiede in Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen und Mathematik (MINT) Karrieredarstellung werden manchmal angenommen, dass sie aus angeborenen Unterschieden zwischen den Geschlechtern in Eignung für MINT-Fächer stammen.^{1,2,3,4,5} Geschlechtsunterschiede könnten biologische Unterschiede sein, die bei der Geburt vorhanden sind, oder sie könnten im Laufe der Zeit mit der Reifung auftreten.⁴ In dieser Studie konzentrieren wir uns auf geschlechtsspezifische Unterschiede in der frühen Kindheit. Obwohl erwachsene MINT-Talente aus einer großen Reihe kognitiver Fähigkeiten abgeleitet sind und wahrscheinlich nicht auf eine einzelne Domäne oder Fähigkeit zurückverfolgt werden können, wenn intrinsische Unterschiede zwischen den Geschlechtern tatsächlich eine Hauptursache für die Unterrepräsentation von Frauen in MINT sind, ist eine Erwartung, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der quantitativen Kognition früh in der menschlichen Entwicklung auftreten werden.

Das Verständnis der Natur der geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Mathematik ist seit vielen Jahren ein Forschungsschwerpunkt. Unterschiede in Messungen, Analysen und Teilnehmerproben haben jedoch zu einer Vielzahl von Befunden geführt. Zum einen können Unterschiede in der mittleren Leistung bei mathematischen Aufgaben auftreten,^{6,7,8} und kleine Unterschiede zugunsten von Jungen wurden in einer Reihe von numerischen Fähigkeiten bis zum Ende des Kindergartens berichtet.⁹ Obwohl die meisten Studien von Kindern im schulischen Alter, die geschlechtsspezifische Unterschiede feststellen, höhere Leistungen bei Jungen melden, haben einige Studien nur Vorteile für Jungen gefunden, wenn Aufgaben mehr Argumentation beinhalten oder räumlicher sind.² Im Gegensatz dazu zeigen Grundschulmädchen manchmal einen Vorteil bei Rechenaufgaben und wenn die Leistung anhand von Schulnoten bewertet wird.¹¹ Andere Studien finden keine Unterschiede, triviale Unterschiede oder Unterschiede bei älteren Kindern, aber nicht bei jüngeren Kindern.^{10,12,13,14} Gruppenunterschiede lassen sich manchmal auf Kohorteneffekte zurückführen. Zum Beispiel zeigen einige Studien, dass Unterschiede zwischen US-amerikanischen und chinesischen Kindern in Mathematik von der Generation oder Schule abhängen,^{15,16} und eine aktuelle Studie zeigte, dass die Stärke eines jeden Vorteils in der Mathematik für Jungen im Vergleich zu Mädchen von Land zu Land variiert.¹⁷ Geschlechtsunterschiede können auch in der Variabilität der mathematischen Leistung zwischen Jungen und Mädchen auftreten. Wenn diese geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Kognition beobachtet werden, neigen Jungen dazu, eine größere Variabilität als Mädchen zu zeigen, was dazu führt, dass mehr Jungen als Mädchen an den leistungsstarken und leistungsschwachen Enden der Verteilungen.^{6,7,8,17,18} Dies kann dazu führen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der durchschnittlichen Leistung auf Gruppenebene fehlen^{12,14}, aber an den leistungsstarken und leistungsschwachen Enden der Verteilungen erkennbar sind.¹⁸

Ein weiteres großes Hindernis bei der Beurteilung solcher geschlechtsspezifischen Unterschiede in der schulischen Mathematik-Metrik ist, dass soziokulturelle Einflüsse, wie Stereotype Bedrohung und der Einfluss von Lehrern und Eltern, machen es schwierig, Geschlechterunterschiede in der Erfahrung von Unterschieden in intrinsischen Fähigkeiten zu trennen.^{19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29} Zum Beispiel könnten Schulkinder geschlechtsspezifische Unterschiede in den mathematischen Fähigkeiten zeigen, weil Mädchen weniger oder anders der Mathematik ausgesetzt sind als Jungen oder gesagt werden, dass

"Mathematik nicht für Mädchen ist." Daher ist unklar, ob Unterschiede in den mathematischen Fähigkeiten in intrinsischen Unterschieden in der numerischen Argumentation in der frühen Kindheit begründet sind oder ob geschlechtsspezifische Unterschiede als Folge von Unterschieden in der kulturellen Exposition gegenüber mathematischen Konzepten entstehen. Das Verständnis der Quellen von Geschlechtsunterschieden ist entscheidend für die Optimierung der Lehrpläne für mathematik- und naturwissenschaftliche Früherziehung.

Frühere Forschungen³⁰ beschrieben Beweise gegen die Existenz von geschlechtsspezifischen Unterschieden in visuospatial Argumentation in der frühen Kindheit. In sechs Aufgaben führten Jungen und Mädchen ähnliche Maßnahmen zur Objektverfolgung (die Fähigkeit, mehreren, unabhängig bewegten Objekten zu folgen), der frühen numerischen Verarbeitung und den geometrischen Kernfähigkeiten (Abb. 1) durch. Diese Daten zeigten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in einigen grundlegenden kognitiven Fähigkeiten von Kindern im Alter von 3 bis 10 Jahren. Diese Forschung lässt jedoch Schlüsselbereiche für die Untersuchung geschlechtsspezifischer Unterschiede in der numerischen Kernverarbeitung offen, einschließlich Mustern, quantitative Informationen während der Kindheit zu betrachten, frühe Diskriminierungsschärfe während der Mengenverarbeitung und formales mathematisches Lernen.

Wir untersuchten die frühe mathematische Kognition von Kindern in der Kindheit und frühen Kindheit, um einen Einblick zu geben, ob geschlechtsspezifische Unterschiede in der frühen Kindheit offensichtlich sind. Mit Ausnahme der Säuglingsdaten wurden diese Daten im Rahmen von Standard-Testbatterien zur Messung numerischer Verarbeitungsfähigkeiten gesammelt. Während wir anerkennen, dass es andere Möglichkeiten gibt, mathematisches Denken in diesem Altersbereich zu messen, haben wir veröffentlichte Daten^{31,32,33,34,35} mit unveröffentlichten Daten aus unseren Längsaufzeichnungen kombiniert, die die Leistung von Kindern in drei Schlüsselbereichen der numerischen Verarbeitung aus unserer Standard-Testbatterie der numerischen Kognition im frühen Kindesalter messen. Zuerst bewerteten wir die Numerositätswahrnehmung und Schärfe im Säuglings- und Kindesalter. Die Numerositätswahrnehmung ermöglicht es uns, die Menge eines Satzes zu schätzen, ohne genau zu wissen, wie viele Elemente im Set enthalten sind – wir haben die Schärfe von Kindern gemessen, um Unterschiede in der Rechenzeit zu erkennen. Als nächstes untersuchten wir zwei Aspekte der mündlichen Zählung während der Vorschule, die das früheste aufkommende genaue Verständnis der Mengen ist. Schließlich haben wir in den ersten Schuljahren schulische Mathematik bewertet, wenn Kinder lernen, Zahlen zu manipulieren. Schulbasierte Mathematik bezieht sich auf umfassende, standardisierte Tests einer Vielzahl von mathematischen Fähigkeiten, einschließlich Zählkompetenz, Zahlenwissen, konkrete Satzvergleiche und Transformationen, Wortprobleme mit numerischen Vergleichen und grundlegenden arithmetischen Transformationen sowie teilganze Konzepte. Da die Tests altersabhängig sind, variierten die Aufgaben jedes Kindes. Diese Daten sind weitgehend unveröffentlicht, wurden aber mit veröffentlichten Daten kombiniert^{31,32,33,34,35}, um geschlechtsspezifische Unterschiede bei über 500 Kindern zu untersuchen.

Wir führten mehrere Analysen durch, um statistische Unterschiede und statistische Leistungsäquivalenz, das Auftreten oder Verschwinden von Altersunterschieden und statistische Unterschiede in der Variabilität zwischen Gruppen zu testen. Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen der Leistung von Jungen und Mädchen wurden anhand von unabhängigen Stichproben t-Tests bewertet, um statistische Unterschiede in der mittleren Leistung zu identifizieren, und Schuirmanns zwei einseitige Äquivalenztests³⁶ zur Identifizierung der statistischen Äquivalenz in der mittleren Leistung (Ähnlichkeit innerhalb der 1/2-Standardabweichung (s.d.) Der Gruppendaten; Durchführung dieses Tests für SAT-Math-Scores.³⁷) Tests sowohl auf statistische Unterschiede als auch auf statistische Äquivalenz sind wichtig. Nicht signifikante t-Tests lassen nur den Schluss zu, dass es nicht genügend Beweise gibt, um die Annahme zurückzuweisen, dass die Leistung zwischen Gruppen gleichwertig ist. Dies bedeutet jedoch nicht notwendigerweise, dass die Gruppen statistisch gleichwertig sind. Durch die Einbeziehung von Äquivalenztests können wir feststellen, ob das Fehlen eines signifikanten Unterschieds zwischen Gruppen statistisch gleichwertige Verteilungen von Punkten zwischen Gruppen widerspiegelt. Bis heute wurden keine Äquivalenztests an Daten über mathematische Fähigkeiten in der frühen Kindheit durchgeführt, aber diese Tests sind besonders wichtig für die Information der "Gender Similarities Hypothesis". 38,39 Um

festzustellen, ob die Ergebnisse des t-Tests altersübergreifend konsistent waren, führten wir auch gleichzeitige lineare Regressionen mit Alter, Geschlecht und deren Interaktion durch, die als Prädiktoren eingegeben wurden. Ein Haupteffekt des Geschlechts würde darauf hindeuten, dass es einen Unterschied zwischen Jungen und Mädchen gibt, wenn es um die Kontrolle des Alters geht, und eine Interaktion würde darauf hindeuten, dass Unterschiede nur an einem Ende der Altersspanne auftreten können. Neben der Bewertung der durchschnittlichen Leistung von Kindern haben wir anhand des Levenes-Tests festgestellt, ob Jungen und Mädchen gleiche Leistungsunterschiede zeigten. Die Prüfung der Varianzgleichheit ist besonders wichtig angesichts früherer Arbeiten, die darauf hindeuten, dass es leistungsstärkere und leistungsschwache Männer gibt als Frauen, da Männer eine größere Variabilität in den Messgrößen der quantitativen Verarbeitung aufweisen.⁴ Für die Gründlichkeit werden in Ergänzung 1 Tests der statistischen Äquivalenz und Unterschiede in der Variabilität der für das Alter kontrollierten Werte berichtet (statistische Unterschiede in den altersgesteuerten Werten sollten in den Regressionsanalysen deutlich werden). Schließlich haben wir für Visualisierungszwecke Wachstumskurven auf Gruppenebene nach vorheriger Arbeit berechnet.⁴⁰ Da diese Kurven auf Gruppenebene berechnet wurden, testen wir statistisch nicht auf Unterschiede zwischen den Wachstumsraten von Jungen und Mädchen und stellen diese Kurven einfach als Möglichkeit zur Visualisierung von Leistungsänderungen mit dem Alter bereit.

Über alle drei Aspekte der frühen mathematischen Kognition, die hier bewertet werden, würden wir erwarten, dass, wenn Jungen und Mädchen sich wirklich in ihren Fähigkeiten für die numerische Verarbeitung unterscheiden, wir Beweise für statistische Unterschiede in der mittleren Leistung finden sollten (unabhängige Stichproben t-Tests), und wir sollten sehen, dass dieser Effekt altersübergreifend konsistent ist (Haupteffekt des Geschlechts in den linearen Regressionen) oder von einem Ende der Altersspanne (Interaktion zwischen Geschlecht und Alter in der linearen Regression) getrieben wird. Die Querschnittsanalyse zeigt jedoch, dass es keine robusten geschlechtsspezifischen Unterschiede in der frühen numerischen Verarbeitung gibt, einschließlich der präverbalen Numerositätswahrnehmung, des Zählenserwerbs und der schulischen mathematischen Fähigkeit.

SCHLUSSFOLGERUNG

Jüngste öffentliche Diskussionen über die Unterrepräsentation von Frauen in MINT-Fächern haben gezeigt, dass Unterschiede bei der Berufswahl zwischen Männern und Frauen auf intrinsische Unterschiede in der Begabung in MINT-Bereichen zurückzuführen sein könnten. Diese Behauptung würde vorhersagen, dass geschlechtsspezifische Unterschiede von Anfang an in der Kindheit offensichtlich sein sollten. Unsere Daten, die in Studien von über 500 Säuglingen und Kindern zusammengestellt wurden, liefern eine umfassende Analyse der Auswirkungen des Geschlechts auf die frühe mathematische Kognition und zeigen, dass es in der Tat keine wesentlichen geschlechtsspezifischen Unterschiede in mathematischen Denkfähigkeiten in der Kindheit oder frühen Kindheit gibt. Jungen und Mädchen schneiden in der Numerositätswahrnehmung, dem Zählen des Erwerbs und den schulbasierten mathematischen Konzepten gleichwertig ab. Unsere Ergebnisse stimmen mit denen einer früheren Studie von fast 200 Kindern überein, die mit der "Give-N"-Aufgabe auf das Wissen über das Zählverfahren getestet wurden und keine Hinweise auf einen statistischen Unterschied zwischen Jungen und Mädchen gefunden haben.³⁰ Darüber hinaus zeigten frühe schulbasierte mathematische Konzepte, die auf dem Wissen über die logischen Prinzipien des Zählens aufbauen, keine geschlechtsspezifischen Unterschiede, was darauf hindeutet, dass Jungen und Mädchen mathematikähnlich auch über das Zählen hinaus lernen. , in die frühe Schulbildung. Diese Interpretation steht im Einklang mit einer früheren Analyse von drei Millionen Grundschulkindern, die zeigen, dass Schultestleistungsunterschiede in Mathematik zwischen Jungen und Mädchen während der Grundschule nicht vorhanden oder trivial sind, aber stetig durch High School und College zunehmen.^{10,13} So beginnen Jungen und Mädchen eine Ausbildung mit gleichwertigen frühen mathematischen Denkfähigkeiten.

Obwohl diese Ergebnisse mit einigen früheren Arbeiten in dieser Altersgruppe von 10,12,30 übereinstimmen, stehen diese Ergebnisse im Gegensatz zu anderen Arbeiten in dieser Altersgruppe. So wurde beispielsweise ein kleiner Vorteil für Jungen in einer Vielzahl von numerischen Fähigkeiten bis zum

Ende des Kindergartens gemeldet.⁹ Die Wachstumskurven, die sie für jeden Test passen, deuten jedoch darauf hin, dass diese Unterschiede nicht über jeden während des Kindergartens bewerteten Zeitpunkt konsistent waren. Bei einigen Tests, wie z. B. Numerischen Schätz- und Zählfähigkeiten, waren Jungen und Mädchen zum anfangszeitpunkt nicht zu unterscheiden. Bei anderen Tests, wie Mustern, Zahlenerkennung und Zahlenkombinationen, hatten Jungen und Mädchen in den mittleren Zeitpunkten überlappende Werte. Dies zeigt, dass selbst wenn geschlechtsspezifische Unterschiede festgestellt werden, sie inkonsistent sind, und unterstreicht die Bedeutung künftiger Arbeiten, die geschlechtsspezifische Unterschiede mit einem Längsbezug sätgenau messen. Im Gegensatz dazu fanden ihre Arbeiten konsistente Unterschiede in der mathematischen Fähigkeit auf der Grundlage des sozioökonomischen Status.⁹ Obwohl geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen den sozioökonomischen Status in der vorliegenden Studie nicht bewertet werden konnten, ist es wichtig, dies bei der zukünftigen Arbeit zu berücksichtigen. Der Vergleich der vorliegenden Studie mit früheren Arbeiten unterstreicht auch die Realität, dass es viele Möglichkeiten gibt, mathematisches Denken in der frühen Kindheit zu messen, und Gruppenunterschiede können je nach Aufgaben, Kohorten und Alter variieren.

Das Fehlen statistischer Unterschiede über die wichtigsten Entwicklungsmeilensteine der frühen mathematischen Kognition ist wahrscheinlich nicht auf die Stichprobengröße zurückzuführen. Leistungsanalysen deuten darauf hin, dass wir angesichts der Größe der hier analysierten Proben kleine bis mittlere Effektgrößen von Cohens $d = 0,34$ bis $0,65$ (80% Leistung, $p = 0,05$; Säuglings-Numerositätsvergleich (Schauzeit): $d = 0,65$; Numerositätsvergleich im frühen Kindesalter (w): $d = 0,37$; Recitation of Count List ("How High?"-Aufgabe): $d = 0,47$; Zählprinzipien ("Give-N"-Aufgabe): $d = 0,52$; Math Concepts (TEMA): $d = 0,34$, (Formal/Informal Math Scores): $d = 0,40$). Wichtig ist, dass sie, selbst wenn es kleinere Effekte gibt, bei Kindern wahrscheinlich nicht zuverlässig, sinnvoll oder konsequent manifestieren. Bei der Interpretation kleiner Effekte in großen Stichproben ist Vorsicht geboten, um sicherzustellen, dass ihre Bedeutung nicht überbewertet wird.^{13,75}

Der Ursprung der geschlechtsspezifischen Unterschiede zwischen Erwachsenen in Wissenschaft, Technik, Ingenieurwesen und Mathematik hat wahrscheinlich eine komplexe soziologische Erklärung^{2,4} und lässt sich nicht leicht auf intrinsische Unterschiede in der Begabung in der frühen Kindheit reduzieren. Frauen wurden von der Teilnahme an Mathematik und Naturwissenschaften abgehalten, und es gibt ein langes Vermächtnis des Sexismus in Akademikern. Stereotyp-Bedrohung hat gezeigt, dass schädliche Auswirkungen auf mädchen- und Frauenmathematik Leistung haben^{19,20} (aber siehe Ganley et al.⁷⁶), und die Stärke der impliziten Stereotype, die Männer mit Frauen mit Wissenschaft in Verbindung bringen vorhergesagt Geschlechtsunterschiede in der 8. Klasse Mathematik Leistung.⁷⁷ Frühere Studien haben festgestellt, dass Wissenschaft und Mathematik Lehrer sind eher, um Jungen zu ermutigen, Fragen zu stellen und fragen zu beantworten, erklären Konzepte für Jungen, loben Jungen, und verbringen mehr Zeit mit der Interaktion mit Jungen.^{22,23,24,25} Eine weitere Quelle für Geschlechtsunterschiede umfasst die elterliche Wahrnehmung der Fähigkeiten von Kindern.²⁶ Eltern, die glaubten, dass Männer in Mathematik überlegen sind, gaben ihren Söhnen deutlich höhere Mathematische Natungsschätzungen als ihren Töchtern, selbst wenn sie die tatsächlichen Werte der Kinder kontrollierten.^{27,28} Mehrere Studien haben auch herausgefunden, dass die Erwartungen der Eltern an die Fähigkeiten und den Erfolg der Eltern mit den Selbstverständnisvorstellungen ihrer Kinder korreliert sind. Performance.^{26,29} In der Tat können die elterlichen Wahrnehmungen der Fähigkeiten der Kinder den Glauben der Kinder an ihre Fähigkeiten stärker beeinflussen als die Noten.⁷⁸ Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Wahrnehmung der mathematischen Fähigkeiten der Schüler durch die Lehrer spätere mathematische Leistungsergebnisse vorhersagt, wenn frühere Messgrößen der Fähigkeiten kontrolliert werden.²¹ Zusammengefasst gibt es einen starken kulturellen Einfluss auf die mathematische Leistung während der Kindheit. Das Austreiben des Stereotyps, dass Jungen einen intrinsischen Vorteil für Mathematik in der frühen Kindheit haben, kann zu einer erhöhten mathematischen Exposition und verbesserten elterlichen und gesellschaftlichen Wahrnehmungen führen, was zu einem verbesserten Erfolg in der Mathematik für Mädchen führt.

Die hier vorgestellten Erkenntnisse liefern einen starken Beweis dafür, dass Jungen und Mädchen vergleichbare kognitive Fähigkeiten haben, um über Mathematik in der frühen Kindheit zu denken. Obwohl es weiterhin möglich ist, dass geschlechtsspezifische Unterschiede in der MINT-Beteiligung später in der

Entwicklung aus der Reifung⁴ in anderen kognitiven Fähigkeiten,^{79,80} oder aus Interaktionen zwischen kulturellen Stereotypen, Training und sexuell dimorphen Verhaltensweisen,^{4,81,82} entstehen, gibt es überzeugende Beweise dafür, dass die Fähigkeiten von Männern und Frauen durch unterschiedliche kulturelle Erfahrungen geprägt sind, die ihr Selbstbild, ihre Behandlung und ihre Möglichkeiten beeinflussen, und wenig Beweise, um Behauptungen über intrinsische oder biologische Geschlechtsunterschiede in der frühen mathematischen Wahrnehmung zu unterstützen.

TRANSLATED VERSION: PORTUGUESE

Below is a rough translation of the insights presented above. This was done to give a general understanding of the ideas presented in the paper. Please excuse any grammatical mistakes and do not hold the original authors responsible for these mistakes.

VERSÃO TRADUZIDA: PORTUGUÊS

Aqui está uma tradução aproximada das ideias acima apresentadas. Isto foi feito para dar uma compreensão geral das ideias apresentadas no documento. Por favor, desculpe todos os erros gramaticais e não responsabilize os autores originais responsáveis por estes erros.

INTRODUÇÃO

As diferenças de género adultas na ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM) representam por vezes diferenças inatas entre os sexos em aptidão para os campos STEM.^{1,2,3,4,5} As diferenças de género podem ser diferenças biológicas que estão presentes à nascença, ou podem emergir ao longo do tempo com maturação.⁴ Neste estudo, focamo-nos nas diferenças de género na primeira infância. Embora o talento stem adulto seja derivado de um grande conjunto de capacidades cognitivas e improvável de ser rastreável a um único domínio ou habilidade, se as diferenças intrínsecas entre os sexos forem, de facto, uma causa fundamental para a sub-representação das mulheres na STEM, uma das expectativas é que as diferenças de género na cognição quantitativa surgirão no início do desenvolvimento humano.

Compreender a natureza das diferenças de género na matemática tem sido um foco de investigação durante muitos anos. No entanto, as diferenças nas medições, análises e amostras dos participantes conduziram a uma variedade de conclusões. Por um lado, as diferenças podem surgir no desempenho médio em tarefas matemáticas,^{6,7,8} e pequenas diferenças a favor dos rapazes têm sido relatadas numa série de habilidades numéricas até ao final do jardim de infância.⁹ Embora a maioria dos estudos de crianças em idade escolar que encontram diferenças de género reportam um desempenho mais elevado em meninos, alguns estudos só encontraram vantagens para os meninos quando as tarefas envolvem mais raciocínio ou são mais espaciais na natureza.² ¹⁰ Em contrapartida, as meninas do ensino básico por vezes mostram uma vantagem nas tarefas computacionais e quando o desempenho é avaliado com base nas notas escolares.¹¹ Outros estudos não encontram diferenças, diferenças triviais ou diferenças em crianças mais velhas, mas não crianças mais novas.^{10,12,13,14} diferenças de grupo podem por vezes ser atribuídas a efeitos de coorte. Por exemplo, alguns estudos mostram que as diferenças entre as crianças americanas e chinesas em matemática dependem da geração ou escola,^{15,16} e um estudo recente mostrou que a força de qualquer vantagem em matemática para meninos vs meninas varia por país. As diferenças de género também podem emergir na variabilidade do desempenho matemático entre meninos e meninas. Quando estas diferenças de género na cognição são observadas, os rapazes tendem a mostrar maior variabilidade do que as raparigas, resultando em mais rapazes do que raparigas nos fins de distribuição de alto desempenho e de baixo desempenho.^{6,7,8,17,18} Isto pode fazer com que as diferenças de género no desempenho médio estejam ausentes ao nível de grupo ^{12,14}, mas detetáveis nos fins de alto desempenho e baixo desempenho das distribuições.¹⁸

Outro dos principais obstáculos na avaliação dessas diferenças de género nas métricas de matemática baseadas na escola é que as influências socioculturais, como a ameaça estereotipante e a influência de

professores e pais, dificultam a separação das diferenças de género em relação às diferenças de capacidades intrínsecas.^{19,20,21,22,23,23,24,25,25,26,27,28,29} Por exemplo, as crianças em idade escolar podem mostrar diferenças de género nas capacidades matemáticas porque as raparigas têm menos ou menos exposição à matemática do que os rapazes ou dizem que "a matemática não é para raparigas". Por conseguinte, não é claro se as diferenças nas capacidades matemáticas estão enraizadas em diferenças intrínsecas no raciocínio numérico na primeira infância ou se as diferenças de género surgem em resultado de diferenças na exposição cultural a conceitos matemáticos. Compreender as fontes de quaisquer diferenças de género é crucial para otimizar os currículos de matemática e ciências na primeira infância.

Pesquisas anteriores³⁰ descreveram provas contra a existência de diferenças de género no raciocínio visuospatial na primeira infância. Ao longo de seis tarefas, meninos e meninas realizaram de forma semelhante em medidas de rastreio de objetos (a capacidade de seguir múltiplos objetos móveis independentes), processamento numérico precoce e habilidades geométricas fundamentais (Fig. 1). Estes dados não revelaram diferenças de género em algumas capacidades cognitivas básicas de crianças entre os 3 e os 10 anos. No entanto, essa investigação deixa em aberto áreas-chave para a investigação das diferenças de género no processamento numérico fundamental, incluindo padrões de análise da informação quantitativa durante a infância, a acuidade precoce da discriminação durante o processamento de quantidade e a aprendizagem formal da matemática.

Examinámos a cognição matemática precoce das crianças durante a infância e a infância para fornecer uma ideia sobre se as diferenças de género são evidentes na primeira infância. Com exceção dos dados do bebé, estes dados foram recolhidos como parte de baterias de teste padrão que medem as capacidades de processamento numérico. Embora reconheçamos que existem outras formas de medir o pensamento matemático nesta faixa etária, combinamos dados publicados^{31,32,33,34,35} com dados inéditos dos nossos registos longitudinais que mediram o desempenho das crianças em três áreas fundamentais do processamento numérico a partir da nossa bateria de teste padrão da cognição numérica da primeira infância. Primeiro, avaliámos a perceção da numerosidade e a acuidade na infância e na infância. A perceção da numerosidade permite-nos estimar a quantidade de um conjunto sem saber exatamente quantos itens estão no conjunto — medimos a acuidade das crianças para detetar diferenças na numerosidade. Em seguida, examinámos dois aspetos da aquisição verbal de contagem durante o pré-escolar, que é a primeira compreensão exata emergente das quantidades. Finalmente, avaliámos a matemática escolar durante os primeiros anos de escolaridade quando as crianças aprendem a manipular números. A matemática escolar refere-se a testes abrangentes e padronizados de uma variedade de habilidades matemáticas, incluindo a contagem de proficiência, conhecimento numérico, comparação e transformação de conjuntos concretos, problemas de palavras com comparações numéricas e transformações aritméticas básicas, e conceitos de parte-à-parte. Como os testes são baseados na idade, as tarefas completadas por cada criança variaram. Estes dados são em grande parte inéditos, mas foram combinados com dados publicados^{31,32,33,34,35}, a fim de examinar as diferenças de género em mais de 500 crianças.

Realizámos várias análises para testar as diferenças estatísticas e a equivalência estatística no desempenho, o aparecimento ou desaparecimento de diferenças com a idade e diferenças estatísticas na variabilidade entre grupos. As semelhanças e diferenças entre o desempenho de rapazes e raparigas foram avaliadas utilizando amostras independentes t testes para identificar diferenças estatísticas no desempenho médio e os dois testes unilaterais de equivalência ³⁶ de Schuirmann para identificar a equivalência estatística no desempenho médio (semelhança em 1/2 desvio padrão (s.d.) Dos dados do grupo; implementação deste teste para as pontuações SAT-Math.³⁷) testes para diferenças estatísticas e equivalência estatística é importante. Os testes t não significativos apenas permitem concluir que não existem provas suficientes para rejeitar o pressuposto de que o desempenho é equivalente entre grupos. No entanto, isto não significa necessariamente que os grupos sejam estatisticamente equivalentes. Ao incluirmos testes de equivalência, podemos determinar se a falta de uma diferença significativa entre grupos reflete distribuições estatisticamente equivalentes de pontuações entre grupos. Até à data, os testes de equivalência não foram realizados sobre dados sobre habilidades matemáticas na primeira infância, mas estes testes são especialmente importantes para informar a "Hipótese das Semelhanças de Género". ^{38,39} Para determinar se os resultados do teste t foram consistentes com a idade, também realizamos regressões

lineares simultâneas com a idade, sexo e sua interação inserindo-se como preditores. Um efeito principal do género sugere que há uma diferença entre rapazes e raparigas quando se controla a idade e uma interação sugere que as diferenças podem surgir apenas numa das extremidades da faixa etária. Além de avaliar o desempenho médio das crianças, determinámos se meninos e meninas mostraram igual variação no desempenho usando o teste de Levene. Os testes para a igualdade de variação são particularmente importantes à luz do trabalho anterior que sugere que há homens com maior desempenho e baixo desempenho do que as fêmeas, porque os machos mostram maior variabilidade nas medidas de processamento quantitativo.⁴ Para o rigor, os testes de equivalência estatística e as diferenças na variabilidade das pontuações controladas para a idade são reportadas no Suplemento 1 (as diferenças estatísticas nas notas controladas pela idade devem ser evidentes nas análises de regressão). Finalmente, para efeitos de visualização, calculámos as curvas de crescimento ao nível do grupo após o trabalho anterior.⁴⁰ Como estas curvas foram calculadas a nível de grupo, não fazemos testes estatísticos para diferenças entre as taxas de crescimento dos meninos e meninas e simplesmente fornecemos estas curvas como forma de visualizar as mudanças no desempenho com a idade.

Em todos os três aspetos da cognição matemática precoce avaliada aqui, esperamos que se os meninos e meninas realmente diferem nas suas capacidades de processamento numérico, devemos encontrar evidências de diferenças estatísticas no desempenho médio (testes independentes de amostras t), e devemos ver que este efeito é consistente com a idade (efeito principal do género nas regressões lineares) ou impulsionado por uma extremidade da faixa etária (interação entre sexo e idade na regressão linear). No entanto, a análise transversal indica que não existem diferenças de género robustas no processamento numérico precoce, incluindo a percepção de numerosidade preverbal, a contagem de aquisição e a capacidade matemática baseada na escola.

CONCLUSÃO

As recentes discussões públicas em torno da sub-representação das mulheres nos domínios STEM sugeriram que as diferenças nas escolhas de carreira entre homens e mulheres poderiam dever-se a diferenças intrínsecas de aptidão nos domínios STEM. Esta afirmação prevê que as diferenças de género devem ser evidentes desde o início da infância. Os nossos dados, compilados através de estudos de mais de 500 bebés e crianças, fornecem uma análise exaustiva do efeito do género na cognição matemática precoce, e mostram que, de facto, não existem diferenças substantivas de género nas capacidades de pensamento matemático durante a infância ou a primeira infância. Meninos e meninas apresentam-se equivalentemente na percepção de numerosidade, contagem de aquisição, e conceitos de matemática escolar precoce. Os nossos resultados são consistentes com os de um estudo anterior de quase 200 crianças que foram testadas no conhecimento do procedimento de contagem usando a tarefa "Give-N" e não encontraram evidências de uma diferença estatística entre meninos e meninas.³⁰ Além disso, conceitos matemáticos baseados na escola que se baseiam no conhecimento dos princípios lógicos da contagem não mostraram diferenças baseadas no género, sugerindo que meninos e meninas aprendem matemática da mesma forma, mesmo para além da contagem de aquisição, para a educação precoce. Esta interpretação é consistente com uma análise prévia de três milhões de crianças do ensino básico mostrando que as diferenças de desempenho nos testes escolares em matemática entre meninos e meninas são inexistentes ou triviais durante o ensino básico, mas aumentam constantemente através do ensino médio e da faculdade.^{10,13} Assim, meninos e meninas começam a educação com habilidades de pensamento matemático precoce equivalentes.

Embora estes resultados sejam consistentes com alguns trabalhos anteriores nesta faixa etária,^{10,12,30} estes resultados contrastam com outros trabalhos nesta faixa etária. Por exemplo, uma pequena vantagem para os meninos numa variedade de habilidades numéricas até ao final do jardim de infância foi previamente reportada.⁹ No entanto, as trajetórias de curva de crescimento que se adequam a cada teste sugerem que estas diferenças não eram consistentes em todos os pontos de tempo avaliados durante o jardim de infância. Para alguns testes, tais como estimativa numérica e habilidades de contagem, meninos e meninas eram indistinguíveis no ponto de tempo inicial. Para outros testes, tais como padrões, reconhecimento de números e combinações de números, meninos e meninas tinham pontuações sobrepostas nos pontos intermédios.

Isto mostra que, mesmo quando as diferenças de gênero são detetadas, são inconsistentes e sublinham a importância do trabalho futuro que mede as diferenças de gênero utilizando uma abordagem longitudinal. Em contrapartida, o seu trabalho encontrou diferenças consistentes na capacidade matemática baseadas no estatuto socioeconômico.⁹ Embora as diferenças de gênero entre os estatutos socioeconômicos não pudessem ser avaliadas no presente estudo, é importante ter isso em consideração no trabalho futuro. Comparando o presente estudo com o trabalho anterior também enfatiza a realidade de que há muitas formas de medir o pensamento matemático na primeira infância e as diferenças de grupo podem variar entre tarefas, coortes e idade.

A ausência de diferenças estatísticas entre os principais marcos do desenvolvimento da cognição matemática precoce é improvável que se dedem ao tamanho da amostra. As análises de energia sugerem que, dado o tamanho das amostras analisadas aqui, deveríamos ter sido capazes de detetar tamanhos de pequenos e médios efeitos que vão de Cohen = 0,34 a 0,65 (80% de potência, $p = 0,05$; Comparação de numerosidade infantil (tempo de aparência): $d = 0,65$; Comparação da numerosidade infantil (w): $d = 0,37$; Recitação da Lista de Contagem ("Quão Alto?" tarefa): $d = 0,47$; Princípios de contagem (tarefa "Give-N"): $d = 0,52$; Conceitos de Matemática (TEMA): $d = 0,34$, (Resultados Formais/Informais de Matemática): $d = 0,40$). É importante que, mesmo que existam efeitos menores, é pouco provável que se manifestem de forma fiável, significativa ou consistente nas crianças. Deve ser tomado cuidado ao interpretar quaisquer pequenos efeitos em amostras grandes para garantir que a sua importância não seja exagerada.^{13,75}

A origem das diferenças de gênero adultas na ciência, tecnologia, engenharia e matemática provavelmente tem uma explicação sociológica complexa^{2,4} e não pode ser facilmente reduzida a diferenças intrínsecas de aptidão na primeira infância. As mulheres têm sido desencorajadas a participar em matemática e ciência, e há um longo legado de sexismo nos académicos. A ameaça estereotipada tem demonstrado ter efeitos nocivos no desempenho da matemática feminina e feminina 19,20 (mas ver Ganley et al.⁷⁶), e a força dos estereótipos implícitos que associam os homens às mulheres com a ciência previu diferenças de gênero na realização de matemática do 8º ano.⁷⁷ Estudos anteriores descobriram que os professores de ciência e matemática são mais propensos a encorajar os rapazes a perguntar e responder a perguntas, explicar conceitos aos meninos, louvar rapazes, e passar mais tempo interagindo com os meninos.^{22,23,24,25} Outra fonte para as diferenças de gênero inclui percepções parentais das capacidades das crianças.²⁶ Pais que acreditavam que os homens são superiores em matemática deram estimativas significativamente mais elevadas de capacidade matemática aos filhos do que às suas filhas, mesmo quando controlam as pontuações reais das crianças.^{27,28} Vários estudos também descobriram que as expectativas parentais para as capacidades e o sucesso das crianças estão correlacionadas com os conceitos próprios dos seus filhos sobre as suas próprias capacidades e mais tarde desempenho.^{26,29} De facto, as percepções parentais sobre as capacidades das crianças podem influenciar as crenças das crianças nas suas capacidades mais do que as notas.⁷⁸ Além disso, a percepção dos professores sobre a capacidade matemática dos alunos tem demonstrado prever resultados de resultados de matemática posteriores quando medidas anteriores de capacidade são controladas.²¹ Tomadas em conjunto, há uma forte influência cultural na realização matemática ao longo da infância. A expulsão do estereótipo de que os rapazes têm uma vantagem intrínseca para a matemática na primeira infância pode levar a uma maior exposição matemática e a uma melhor percepção parental e social, resultando numa melhoria do sucesso em matemática para as meninas.

As descobertas aqui apresentadas fornecem fortes evidências de que meninos e meninas têm faculdades cognitivas comparáveis para raciocinar sobre matemática durante a primeira infância. Embora continue a ser possível que as diferenças de gênero no envolvimento dos STEM surjam mais tarde no desenvolvimento da maturação,⁴ em outras competências cognitivas,^{79,80} ou de interações entre estereótipos culturais, formação e comportamentos sexualmente dimórficos,^{4,81,82} há provas convincentes de que as habilidades masculinas e femininas são moldadas por diferentes experiências culturais que afetam a sua autoimagem, tratamento e oportunidades, e pouca evidência para apoiar alegações de diferenças de gênero intrínsecas ou biológicas na cognição matemática precoce.