

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В ТОЧНОСТИ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИБЛИЗИТЕЛЬНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ И В МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДОСТИЖЕНИЯХ

Д. ИППОМА-ПАУЭЛЛ¹, Е. КУПЕР^{1*}, О.Е. БОГДАНОВА³, О.Н. ОВЧАРОВА²,
В.И. ИСМАТУЛЛИНА², Ю.В. КОВАС^{1, 2, 3}

¹ *Голдсмитс колледж, Университет Лондона, Лондон, Великобритания;*

² *ФГНУ «Психологический институт» РАО, Москва, Россия;*

³ *ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия*

К настоящему времени не достигнуто согласия относительно того, является ли система приблизительной количественной оценки (СПКО) абстрактной или модально специфической. В данном исследовании изучается связь между различными измерениями СПКО в разных модальностях, а также их связи с измерениями математических и других познавательных способностей. Результаты не подтверждают представление о СПКО как об абстрактной системе. Требуются дальнейшие исследования для понимания природы СПКО и факторов, которые наряду с СПКО вносят вклад в индивидуальные различия в математике.

Ключевые слова: система приблизительной количественной оценки, сенсорные модальности, когнитивные способности, математические способности, индивидуальные различия.

Введение

Математика имеет огромное значение в современном мире. В связи с этим проводится множество исследований, направленных на понимание того, каким образом происходит развитие индивидуальных различий в математических способностях. Было выдвинуто предположение о существовании системы репрезентации символических чисел, задействованной в выполнении математических заданий – арифметических, вычитания и умножения (Inglis M., Attridge N., Batchelor S., & Gilmore C., 2011) [14]. Недавно были получены данные, свидетельствующие о существовании второй системы ре-

презентации чисел, получившей название системы приблизительной количественной оценки – СПКО (Approximate Number System – ANS) (Dehaene S., 2011) [4].

СПКО представляет собой систему в головном мозге, связанную с представлением и переработкой несимволической числовой информации (Gilmore C., Attridge N., & Inglis M., 2011) [9]. Способность к оценке количества обычно обозначается чувством числа и понимается как наследственная интуиция в отношении количества [4]. Новорожденные дети всего несколько часов от роду способны различать объекты по наборам множеств (Izard V., Sann C., Spelke E.S., & Strerib A., 2009) [15].

Одной из ключевых характеристик СПКО является ее неточность (DeWind N.K. & Brannon E.M., 2012) [6]. С уменьшением различия между двумя множествами, способность к различению между множествами становится более точной. Таким образом, числовые сравнения оказываются

© Иппома-Пауэлл Д., Купер Е., Богданова О.Е., Овчарова О.Н., Исмагуллина В.И., Ковас Ю.В., 2013

* **Для корреспонденции:**

Е. Коопер
Department of Psychology,
Goldsmiths, University of London,
London, SE14 6NW

зависимыми от соотношения, как то объясняет закон Вебера (Halberda J., Mazzocco M., & Feigenson L., 2008) [12]: чем меньше доля, тем выше точность СПКО [6]. В среднем для взрослых доля Вебера составляет около 0,11. Однако в раннем возрасте точность оценки гораздо ниже. Она возрастает на протяжении детского и подросткового возраста, пока не достигает уровня, ожидаемого для зрелого состояния [12].

Точность СПКО считают одним из потенциальных факторов в индивидуальных различиях в математических навыках и достижениях [4, 12]. Исследования выявляют значимые корреляции между точностью СПКО и прошлой и настоящей успешностью прохождения стандартизованных математических тестов (Holloway I.D. & Ansari D., 2009 [13]; Booth J.L. and Siegler R.S., 2006 [2]; Jordan N.C., Kaplan D., Locuniak M.N., & Ramineni C., 2007 [16]; Halberda J. & Feigenson L., 2008 [11]; Barth H., Kanwisher N., & Spelke E., 2003 [1]).

Согласно одному взгляду, репрезентация числа или количества в СПКО является абстрактной (амодальной) – Kadosh R.C. & Walsh V., 2009 [17]; Gilmore C., Attridge N., & Inglis M., 2011 [9]. Действительно, исследования показывают, что числовые сравнения могут в равной степени осуществляться в разных формах и сенсорных модальностях [17]. Однако ряд факторов ставит под сомнение эту точку зрения, показывая, что концептуализация СПКО в качестве единой абстрактной системы представления может быть преждевременной [17].

Во-первых, разные зоны мозга, приводящие к сходным поведенческим проявлениям, могут участвовать в выполнении задания (Cohen Kadosh R., Cohen Kadosh K., & Henik A., 2007) [3]. Во-вторых, многие исследования делают заключение об абстрактности системы на основании нулевых результатов об отсутствии различий между числовыми сравнениями в разных модальностях [1]. В-третьих, существует два основных типа парадигм, использующихся для тестирования точности СПКО в

разных возрастных группах. Способность СПКО у детей раннего возраста обычно исследуется с помощью задания на обнаружение, тогда как для взрослых применяются задания на различение (Gebuis T. & Van der Smagt M.J., 2011) [8]. Несмотря на различные способы тестирования, эти исследования обычно упоминаются вместе при описании природы СПКО. И, наконец, на числовую оценку влияет целый ряд факторов: 1) свойства стимулов, такие как занимаемая площадь, размер и форма точек в массиве (Ginsburg N., 1991 [10]; Sophian C. & Chu Y., 2008 [24]); 2) само задание, такие как требования к процессам внимания, рабочей памяти, восприятия [17]); и 3) кросс-модальный перенос числовой информации, когда одна сенсорная модальность прерывает обработку информации из другой сенсорной модальности, в которой она была представлена на входе (Shams L., Kamitani Y., & Shimojo S., 2000) [21].

Независимо от того, является ли СПКО общей и амодальной или специфической в отношении различных областей и модальностей, ее связь с математическими способностями может частично объясняться участием других факторов, таких как общий интеллект или пространственные способности. Например, было показано, что зрительное сравнение множеств опирается на пространственные представления (Dehaene S., Bossini S., & Giraux P., 1993 [5]; Lipton J. & Spelke E., 2003 [18]).

Целью данного исследования было изучить абстрактность СПКО на материале трех заданий по сравнению несимволически выраженных множеств: зрительное, слуховое и весовое (по тяжести) количественное сравнение. Ожидалось, что индивидуальные различия в точности СПКО будут получены для каждого типа задания и что они обнаружат частичную корреляцию. Второй целью было изучить связь между точностью СПКО в разных модальностях и математическими достижениями, контролируя интеллект и пространственные способности.

Методика

Выборка. В эксперименте приняли участие 114 студентов 18–40 лет ($M=21,08$, $SD=3,52$) (34 мужчины и 80 женщин). Все испытуемые имели нормальное или скорригированное до нормального зрение и слух.

Процедура исследования. Участники тестировались индивидуально на персональном компьютере в небольшой и тихой экспериментальной комнате в присутствии одного исследователя. Инструкции для каждого экспериментального задания предъявлялись на экране компьютера. Тестирование проводилось за одну встречу и занимало около 60–80 минут. Задание на определение чувства числа по весу осуществлялось вручную после завершения батареи онлайн тестов. В конце участникам предлагалась форма опроса о результатах тестирования.

Методы. Участники заполняли опросник демографических данных, а также выполняли семь экспериментальных заданий.

Задание на завершение числовой последовательности. Задание на завершение числовой последовательности является тестом на математическое количественное заключение и было адаптировано из Теста Когнитивных Способностей 3 – Cognitive Abilities Test 3 (Smith P., Fernandes C., & Strand S., 2001) [23]. Этот тест включает четыре тренировочные пробы и основной тест из 44 заданий. В каждой пробе по центру экрана предъявляется ряд чисел с отсутствующим последним числом. Испытуемым дается инструкция определить, каким числом должен быть дополнен ряд в соответствии с некоторой закономерностью.

Прогрессивные матрицы Равена. Этот метод широко используется для оценки общего интеллекта. Он адаптирован из работы Raven J.C., Court J.H., & Raven J. (1996) [20]. Тест был разбит на четыре уровня. Первые три уровня включают в себя по шесть заданий каждый, в четвертый уро-

вень входят 12 проб. Всего проводится 30 проб. Стимульным материалом служит ряд рисунков с одной недостающей фигурой. Испытуемых просят выбрать недостающую фигуру из восьми возможных ответов.

Тест на мысленное вращение. Тест на мысленное вращение использовался для диагностики пространственных способностей. Он был разработан Шепардом и Мецлером (1971) [22]. Тест включает в себя четыре тренировочные пробы и 181 – экспериментальную. В каждой пробе предъявляются три фигуры, эталон и два повернутых под определенным углом изображения. Испытуемому предлагается определить, какой из двух объектов идентичен эталонному. На выполнение задания отводилось три минуты, в течение которых надо решить как можно больше заданий.

Тест последовательностей. Данный метод направлен на оценку объема зрительно-пространственной памяти и был адаптирован из работы Pagulayan K.E., Busch R.E., Medina K., Bartok J.A., and Krikorian R. (2006) [19]. Формат этого теста предполагает предъявление числовой последовательности в виде зажигающихся желтым блоком кубиков. Для каждой пробы заранее определяется числовая последовательность, например, 4, 5, 3 и 1. Числовая последовательность предъявлялась визуально в матрице на 9, на черном фоне. После предъявления всех элементов числовой цепочки испытуемых просили воспроизвести предложенную последовательность, нажимая компьютерной мышью на нужные кубики.

Тест «Точки и числа» (Visual Number Sense Dot Task – VNSD). Задание впервые использовалось в исследовании Halberda J., Mazocco M., & Feigenson L. (2008) [12]. Во время каждой пробы на экране на протяжении 400 мс загорался массив желтых и синих точек. Соотношение массивов соответствовало следующим показателям: 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 и 0,9. Испы-

тующие должны были определить, каких точек больше – желтых или синих. Порядок предъявления был случайным. Испытуемым предлагались две тренировочные пробы, после которых предъявлялись 150 проб, организованных в три блока по 50 каждый.

Слуховой сигнальный тест на чувство числа (Auditory Number Sense Beep Task – ANSB). Это задание было разработано и реализовано на базе программного обеспечения E-Prime. 100 проб были разбиты на четыре блока по 25 каждый, предъявляемые с перерывом в одну минуту. Последовательность простых однотонных звуков имела следующие свойства: 1411 kbps, 16 бит, 2 (стерео) и 44 кГц. В каждой пробе предъявлялись две последовательности звуков, разделенные краткой паузой. Число звуков в каждой последовательности варьировало от пяти до 21. Соотношения последовательностей были следующими: 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 и 0,9. Испытуемые должны были определить, какая последовательность звуков более продолжительна. Поскольку тест был разработан специально для данного исследования, требовалось провести анализ надежности. Коэффициент альфа Кронбаха показал низкую внутреннюю надежность этого метода ($\alpha=0,40$). Необходимо дальнейшая работа по доработке и валидации теста.

Тест определения чувство числа по весу (Weight Number Sense Boxes Task – WNSB). Задание было разработано специально для настоящего исследования. Стимульным материалом служили 19 маленьких коробочек серебристого цвета размером $5 \times 5 \times 5$ см. Вес каждой коробочки колебался от 50 до 420 г. Число проб и соотношений было тем же, что и в слуховом тесте на чувство числа. Две коробочки одновременно клали на обе руки испытуемому на две секунды. Испытуемые должны были определить, какая из них тяжелее. Все ответы фиксировались вручную на бланке протокола. Альфа коэффициент Кронбаха составил 0,77.

Результаты

Данные, полученные в тесте слуховой оценки чувства числа, были исключены из анализа в силу низкой надежности теста. Анализ пропущенных значений был проведен для всех переменных. Он подтвердил, что менее 5% данных были пропущены в визуальном тесте «Точки и числа». MCAR тест Литтла показал, что пропуски носят полностью случайный характер; р-значение оказалось незначимым ($p=0,934$). Пропущенные значения были объяснены с помощью EM-алгоритма (Tabachnick B.G. & Fidell L.S., 2013) [25].

За исключением оценок по математике (взятых из британского сертификата о среднем образовании – General Certificate of Secondary Education, GCSE), все переменные контролировались по фактору возраста и преобразовывались в новые переменные на основе доли правильных ответов. Процент ошибок учитывался для двух переменных – мысленного вращения и последовательностей. Психофизическое моделирование не использовалось для определения точности СПКО. Вместо этого данный показатель рассчитывался как процент правильно выполненных заданий.

Оценки по математике GCSE были переведены в восьмибалльную шкалу Лайккерта от 1 (худшая оценка F) до 8 (лучшая оценка A*).

Распределение для каждой переменной проверялось на нормальность путем анализа таблиц и гистограмм. Небольшая асимметрия наблюдалась для всех переменных. Для выявления одномерных выбросов использовались стандартизованные оценки. Данные четырех испытуемых, чей z-показатель был выше 3,29 или ниже -3,29, были исключены из анализа, что привело к повышению симметричности распределений всех переменных до приемлемого уровня.

Средние и стандартные отклонения для всех переменных представлены в таблице 1. Для оценки различий в успешности выпол-

нения двух тестов на чувство числа, было проведено t-тестирование. Были выявлены значимые различия в показателях между переменными зрительного теста на чувство числа VNSD ($M=0,743$, $SD=0,073$) и весового теста на чувство числа WNSB ($M=0,841$, $SD=0,069$) $t = -10,87$, $df=109$, $p < 0,001$.

Поскольку в исследовании использовались два способа оценки математических достижений (оценки по математике и тест завершения числовой последовательности), мы планировали сформировать общий показатель математической успешности при условии высокой корреляции двух измерений. В таблице 2 представлена полученная корреляция – значимая позитивная, но слабая – между оценками по математике и выполнением теста на завершение числовой последовательности. Учитывая сла-

бую корреляцию, формирование единого индекса было признано неоправданным. Аналогичным образом рассматривалась возможность объединения переменных чувства числа в случае их сильной корреляции между собой. Однако, как видно из таблицы 2, не было выявлено ни одной корреляции между этими переменными.

Как и предполагалось на основании предыдущих исследований, интеллект и пространственные способности обнаружили связь с математическими способностями (см. табл. 2). Неожиданным образом ни один из тестов на чувство числа не показал корреляцию с математическими способностями (см. табл. 2). Однако зрительный тест на чувство числа значимо коррелировал с тестами на интеллект и пространственные способности.

Таблица 1

Среднее и стандартное отклонение для каждой переменной

Переменная	Среднее	Стандартное отклонение
Оценка по математике	5,59	1,44
Завершение числовой последовательности	0,38	0,08
Матрицы Равена	0,39	0,12
Мысленное вращение	15,16	14,14
Последовательности (блоки Корси)	0,45	0,15
Зрительный тест на чувство числа	0,74	0,08
Весовой тест на чувство числа	0,83	0,10

Таблица 2

Корреляции для всех экспериментальных переменных

	Оценка по математике	Завершение числовой последовательности	Матрицы Равена	Мысленное вращение	Последовательности	Зрительный тест на чувство числа	Весовой тест на чувство числа
Оценка по математике	–						
Завершение числовой последовательности	0,272**	–					
Матрицы Равена	0,230*	0,286**	–				
Мысленное вращение	0,057	0,219*	0,358**	–			
Последовательности	0,203*	0,296**	0,272**	0,172	–		
Зрительный тест на чувство числа	0,098	0,174	0,324**	0,375**	0,288**	–	
Весовой тест на чувство числа	-0,017	0,025	0,056	-0,057	0,052	0,103	–

Примечание: * $p < 0,05$ (двусторонний); ** $p < 0,01$ (двусторонний)

Обсуждение

Первой целью настоящего исследования было изучить абстрактность СПКО. Если бы СПКО действительно обладала этой характеристикой, то можно было бы ожидать значимую корреляцию между двумя тестами на чувство числа. Однако в нашем исследовании не было выявлено такой связи, что подтверждает представление о СПКО как о неабстрактной системе.

Различные когнитивные сферы могут быть задействованы при выполнении этих заданий [17]. Зрительный тест на чувство числа значимо коррелировал со всеми тремя тестами на зрительно-пространственные способности (матрицы Равена, мысленным вращением и тестом последовательностей). Данные четыре методики могут объединять общие ментальные репрезентации для переработки информации о числах и пространстве, как это демонстрируют исследования мозговой визуализации (Walsh V., 2003) [26].

Отсутствие связи между двумя измерениями СПКО может объясняться и различиями в трудности заданий, приводящей к лучшему выполнению теста на сравнение чувства числа по тяжести объектов. Однако оба теста показали сходное распределение и лишь незначительное различие уровня сложности. Результаты дают возможность предположить, что определение веса основано на механизмах, не коррелирующих не только с теми, что задействованы в зрительных тестах на чувство числа, но также и с тестами на интеллект и пространственные способности. Природа этих механизмов требует дальнейшего исследования.

Второй целью настоящего исследования было изучение отношения между точностью СПКО и математическими достижениями, контролируя интеллект и пространственные способности. Полученные результаты противоречат данным ряда предшествующих работ, продемонстрировавших связь между СПКО и математикой

[12], поскольку ни один из двух тестов на чувство числа не показал корреляции с математическими параметрами.

Одним из возможных объяснений несовпадения с предыдущими исследованиями является форма оценки математических способностей. Нами использовались две переменные для математики – тест на завершение числовой последовательности и оценка по математике. Эти показатели могут не отражать всех аспектов математических способностей, поскольку тест на завершение числовой последовательности оценивает лишь один из аспектов математической способности, а школьные оценки по математике были получены испытуемыми за несколько лет до эксперимента. Кроме того, специфика квалификационных баллов по математике в рамках британского сертификата о среднем образовании может не подходить для изучения связи между СПКО и математической успешностью. Однако не все проведенные ранее исследования выявляют связь между СПКО и математическими способностями [9]. Требуются дальнейшие исследования для углубления понимания природы полученного несоответствия результатов.

Хотя показатели математических способностей не коррелировали с СПКО в соответствии с предыдущими исследованиями, они обнаружили значимую корреляцию с показателями пространственных способностей, зрительно-пространственной памяти и интеллекта (Diezmann C.M. & Watters J.J., 2000 [7]; Walsh V., 2003 [26]).

Исключение слухового теста на СПКО вследствие его ненадежности означало, что общность СПКО и ее связь с математическими способностями не могли быть всесторонне представлены в данном исследовании. Глубинное понимание этих сложных связей требует проведения в будущем многомерного исследования, которое включало бы в себя различные измерения СПКО, математических способностей, а также других областей познавательных процессов.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе была изучена связь между различными измерениями системы количественной оценки в разных модальностях, а также их связи с измерениями математических и других познавательных способностей. Не подтверждено представление о системе количественной оценки как об абстрактной системе. Необходимы дальнейшие исследования данной проблемы, особенно в аспекте выяснения индивидуальных различий при овладении математическими знаниями.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования (№ 11.G34.31.0043).

Литература

1. Barth H., Kanwisher N., & Spelke E. The construction of large number representation in adults // *Cognition*. – 2003. – Vol. 86. – P. 201–221.
2. Booth J.L., & Siegler R.S. Developmental and individual differences in pure numerical estimation // *Developmental Psychology*. – 2006. – Vol. 41(6). – P. 189–201.
3. Cohen Kadosh R., Cohen Kadosh K., & Henik A. The neuronal correlate of bidirectional synaesthesia: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study // *Journal of Cognitive Neuroscience*. – 2007. – Vol. 19(12). – P. 2050–2059.
4. Dehaene S. *The number sense: How the mind creates mathematics, revised and updated edition*. – Oxford, UK: Oxford University Press, 2011.
5. Dehaene S., Bossini S., & Giraux P. The mental representation of parity and numerical magnitude // *Journal of Experimental Psychology: General*. – 1993. – Vol. 122. – P. 371–396.
6. DeWind N.K., & Brannon E.M. Malleability of the approximate number system: Effects of feedback and training // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2012. – Vol. 6(68). – P. 1–10.
7. Diezmann C.M., & Watters J.J. Identifying and supporting spatial intelligence in young children // *Contemporary Issues in Early Childhood*. – 2000. – Vol. 1(3). – P. 299–313.
8. Gebuis T., & Van der Smagt M.J. False approximations of the approximate number system? // *PLoS One*. – 2011. – Vol. 6(10). – P. 1–9.
9. Gilmore C., Attridge N., & Inglis M. Measuring the approximate number system // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. – 2011. – Vol. 64(11). – P. 2099–2109.
10. Ginsburg N. Numerosity estimation as a function of stimulus organisation // *Perception*. – 1991. – Vol. 20. – P. 681–686.
11. 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 // *Developmental Psychology*. – 2008. – Vol. 44(5). – P. 1457–1465.
12. Halberda J., Mazocco M., & Feigenson L. Individual differences in nonverbal number acuity correlate with maths achievement // *Nature*. – 2008. – Vol. 455. – P. 655–668.
13. Holloway I.D., & Ansari D. Mapping numerical magnitudes onto symbols: The number distance effect and individual differences in children's mathematics achievement // *Journal of Experimental Child Psychology*. – 2009. – Vol. 103. – P. 17–29.
14. Inglis M., Attridge N., Batchelor S., & Gilmore C. Non-verbal number acuity correlates with symbolic mathematics achievement: But only in children // *Psychonomic Bulletin & Review*. – 2011. – Vol. 18. – P. 1222–1229.
15. Izard V., Sann C., Spelke E.S., & Streri A. Newborn infants perceive abstract numbers // *PNAS*. – 2009. – Vol. 106(25). – P. 10382–10385.
16. Jordan N.C., Kaplan D., Locuniak M.N., & Ramineni C. Predicting first-grade math achievement from developmental number sense trajectories // *Learning Disabilities Research and Practice*. – 2007. – Vol. 22. – P. 36–46.
17. Kadosh R.C., & Walsh V. Numerical Representation in the parietal lobes: Abstract

- or not abstract? // *Behavioural and Brain Sciences*. – 2009. – Vol. 32. – P. 313–373.
18. *Lipton J., & Spelke E.* Origins of number sense: Large-number discrimination in human // *Psychological Science*. – 2003. – Vol. 14(5). – P. 396–401.
 19. *Pagulayan K.F., Busch R.M., Medina K.L., Bartok J.A., & Krikorian R.* Developmental normative data for Corsi block-tapping task // *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*. – 2006. – Vol. 28(6). – P. 1043–1052.
 20. *Raven J.C., Court J.H., & Raven J.* Manual for Raven's progressive matrices and vocabulary scales. – Oxford: Oxford University Press, 1996.
 21. *Shams L., Kamitani Y., & Shimojo S.* What you see is what you hear // *Nature*. – 2000. – Vol. 408. – P. 788.
 22. *Shepard R., & Metzler J.* Mental rotation of three-dimensional objects // *Science*. – 1971. – Vol. 171. – P. 701–703.
 23. *Smith P., Fernandes C., & Strand S.* Cognitive Abilities Test 3: Technical manual and pupil book. – Windsor, England: NFER Nelson, 2001.
 24. *Sophian C., & Chu Y.* How do people apprehend large numerosities? // *Cognition*. – 2008. – Vol. 107. – P. 460–478.
 25. *Tabachnick B.G., & Fidell L.S.* Using Multivariate Statistics (6th ed.). – Boston: Allyn and Bacon, 2013.
 26. *Walsh V.* A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space, and quantity // *Trends in Cognitive Sciences*. – 2003. – Vol. 7. – P. 483–488.

INDIVIDUAL DIFFERENCES IN MULTISENSORY APPROXIMATE NUMBER SYSTEM AND MATHEMATICAL PERFORMANCE

D. IPPOMA-POWELL¹, E. COOPER¹, O.E. BOGDANOVA³,
O.N. OVCHAROVA², V.I. ISMATULLINA², Y. KOVAS^{1, 2, 3}

¹ *Goldsmiths, University of London, London, UK;*

² *Psychological Institute, Russian Academy of Education, Moscow, Russia;*

³ *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

To date, no consensus is reached as to whether the Approximate Number System (ANS) is domain general or domain specific. This study examines the relationship between different dimensions of ANS in different modalities, as well as their relationship with mathematical and other cognitive abilities. The results do not support the ANS as an abstract system. Further research is needed to understand the nature of ANS and the factors that contribute to individual differences in mathematics along with ANS.

Keywords: approximate number system, sensory modalities, cognitive abilities, mathematical abilities, individual differences.