

# Нарушения счетных навыков: обзор причин и нейропсихологических механизмов дискалькулии

**Глиник О.А.**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени  
М.В. Ломоносова» (ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова),  
ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной  
детской хирургии и травматологии» (НИИ НДХиТ), г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9092-9742>, e-mail: [bugayevaolga@gmail.com](mailto:bugayevaolga@gmail.com)

Представлен обзор зарубежных исследований, посвященных нарушениям счета. Отражены основные современные теории механизмов, лежащих в основе дискалькулии, сравниваются различные классификации нарушения счетных навыков, анализируются нейропсихологические основы мозговой организации счета по данным зарубежных ученых. Отмечается, что в мировой психологической науке вопросы причин и механизмов трудностей и нарушений счета еще недостаточно разработаны, а результаты эмпирических исследований являются противоречивыми. Делается вывод, что для дальнейшего изучения дискалькулии необходим анализ психологической структуры счета и ее изменений под влиянием обучения с учетом структурно-функциональных особенностей мозговой организации процессов переработки количественной информации.

**Ключевые слова:** нарушения счетных навыков, дискалькулия, трудности обучения математике.

---

**Для цитаты:** Глиник О.А. Нарушения счетных навыков: обзор причин и нейропсихологических механизмов дискалькулии // Психологическая наука и образование. 2022. Том 27. № 1. С. 17—26. DOI: <https://doi.org/10.17759/pse.2022270102>

# Numeracy Skills Disorders: Review of Causes and Neuropsychological Mechanisms of Dyscalculia

**Olga A. Glinik**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma  
(CRIEPT), Moscow, Russia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9092-9742>, e-mail: [bugayevaolga@gmail.com](mailto:bugayevaolga@gmail.com)

The article presents a review of foreign studies on the numerical difficulties and numerical disorders. The main modern theories of the mechanisms underlying the

difficulties and disorders of counting are reflected, various classifications of dyscalculia are compared, and the neuropsychological foundations of the brain organization of counting are analyzed according to foreign scientists. It is noted that in the world of psychological science, the issues of the causes and mechanisms of difficulties and disorders of counting are still insufficiently developed, and the results of empirical researches are contradictory. It is concluded that for further study of dyscalculia it is necessary to analyze the psychological structure of counting and its changes under the influence of learning, taking into account the structural and functional features of the brain organization of quantitative information processing.

**Keywords:** numeracy skills disorder, dyscalculia, mathematical learning difficulties.

**For citation:** Glinik O.A. Numeracy Skills Disorders: Review of Causes and Neuropsychological Mechanisms of Dyscalculia. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie = Psychological Science and Education*, 2022. Vol. 27, no. 1, pp. 17—26. DOI: <https://doi.org/10.17759/pse.2022270102>

## Введение

Проблеме математических способностей и поиску наиболее эффективных методов для усвоения детьми начального курса математики в разное время уделяли внимание многие отечественные и зарубежные ученые (В.А. Крутецкий, П.Я. Гальперин, В.В. Давыдов, Н.И. Непомнящая, Ж. Пиаже, Э. Торндайк и др.). Важное место в научной литературе по педагогике, психологии, логопедии и дефектологии занимают и исследования нарушения приобретения счетных навыков и путей их коррекции (Т.В. Ахутина, Н.М. Полонская, А. Гермаковска, Р.И. Лалаева, Г. Капустина и др.), а также распада счета в результате локальных мозговых поражений и восстановительного обучения (А.Р. Лурия, Л.С. Цветкова, М.Г. Храковская и др.).

Несмотря на то, что исследования счета и его нарушений занимают в нейропсихологии важное место, полученные результаты нельзя назвать исчерпывающими, и тому есть несколько причин.

С одной стороны, субтесты, предполагающие навыки счета, включаются практически во все нейропсихологические батареи и тесты интеллектуальных способностей. С другой стороны, нейропсихологических исследований, прицельно сосредоточенных на счете и его нарушениях, гораздо меньше, чем подобных исследований нарушений чтения при приблизительно схожей серьезности влияния на функционирование в течение жизни [5; 9;

24; 26]. При этом еще меньшее количество исследований уделяет достаточное внимание психологическому строению счета в связи с решением вопроса о мозговом субстрате счетных операций. Между тем, еще Л.С. Выготский отмечал, что проблема локализации предполагает решение вопроса о соотношении структурных и функциональных единиц работы мозга, и настаивал на важности понимания того, что локализуется, для выяснения характера локализации [1]. Основная масса отечественной литературы, посвященной проблеме нарушений счета, увидела свет еще в середине или конце прошлого века, современные же отечественные исследования проблемы представлены весьма ограниченным набором статей, в которых уделяется сравнительно мало внимания мозговым механизмам процесса переработки числовой информации и механизмам нарушения счета (Н.Н. Рысина, А.В. Грибанов, О.В. Степкова, Л.В. Селькина, Ю.В. Красильникова, С.Ю. Кондратьев, Т.Н. Тихомирова, С.Б. Малых и др.). Именно поэтому нам представляется важным представить обзор современных, преимущественно зарубежных исследований, посвященных вопросам классификации дискалькулии, причинам и механизмам нарушения приобретения счетных навыков и мозговой организации процессов переработки числовой информации в целом. Понимание причины трудностей овладения детьми начальными математическими навыками, такими как понятие числа и четыре

основные арифметические операции, а также выделение видов и типов тех трудностей, которые могут выявляться у детей при овладении счетом, важно как для раннего выявления детей с риском развития дискалькулии, так и для разработки коррекционных программ с целью преодоления уже возникших трудностей.

### **Нейропсихологический анализ мозговой организации функции счета**

Счет представляет собой многокомпонентную функциональную систему, опирающуюся на разветвленную цепь с большим количеством звеньев [2; 5; 9]. Он часто нарушается как при очаговых, так и при диффузных поражениях мозга различной локализации, например, при диффузно-аксональных повреждениях, сопровождающих черепно-мозговые травмы у детей [26].

На заре исследований вопроса определения мозгового субстрата для математических вычислений основывалось, главным образом, на наблюдениях за неврологическими и нейрохирургическими пациентами [2; 5]. Опираясь на данные патологии мозга, ученые всего мира связывали переработку числовой информации прежде всего с теменными долями коры головного мозга. Такая картина в общих чертах подтверждается также методами современной радиологии. Исследования, проведенные с использованием методов нейровизуализации, свидетельствуют об однозначной вовлеченности в процессы переработки числовой информации и счета задне-теменных областей, в особенности внутритеменной борозды, угловой извилины и надкраевой извилины, являющейся частью нижней теменной доли. Кроме того, в процессах арифметических вычислений и счета участвуют префронтальные, затылочно-височные зоны мозга и гиппокампальная область [9; 24].

С расширением методологических возможностей исследования мозговой организации счета, прежде всего, за счет методов ЭЭГ, фМРТ, ПЭТ и других современных технологий, к традиционным исследованиям с участием нейрохирургических больных присоединился большой пласт исследований детей с дискалькулией или, шире, с математически-

ми трудностями (МТ) [28], а также здоровых взрослых [19]. Большое количество исследований такого рода до последнего времени были сосредоточены на изучении различий в структуре серого вещества [3; 13; 28]. И лишь в последние несколько лет ученые стали уделять внимание проблеме внутримозговых связей, и появились исследования, где изучаются различия белого вещества мозга у детей с МТ и у типично развивающихся сверстников, в том числе и лонгитюдные [23; 24].

Современные исследования с использованием нейровизуализации подчеркивают связи, идущие от теменных долей к левым лобным долям в случае предъявления испытуемому более сложных заданий [9]. В отечественной нейропсихологии связи математических способностей, в том числе способностей к счету и решению задач, с лобными долями мозга были получены уже на материале локальных поражений мозга [2], и современные исследования мозговых процессов с использованием нейровизуализационных технологий лишь еще раз подтвердили находки наших ученых.

Важным открытием современных нейровизуализационных исследований является объективное подтверждение того факта, что организация мозговых сетей, участвующих в выполнении арифметических вычислений, носит динамический, гетерохронный характер, и зоны мозговой активности, отвечающие за выполнение математических заданий, смещаются от одних нейронных подсистем к другим по мере обучения. Так, в новаторском исследовании Rivera и соавторов здоровым праворуки участникам (детям начиная с 8 лет и взрослым) было предложено определить, верные ли арифметические примеры им предъявлены. При этом у более старших участников исследования при произведении вычислений в уме наблюдалась большая активность левой теменной коры, включая надкраевую извилину и прилегающую к этим областям переднюю часть внутритеменной борозды вместе с латеральными отделами затылочно-височной коры. У детей картина активации значительно отличалась. Так, они показывали большую активность со стороны префронтальной коры

и передней поясной коры. Авторы исследования объясняют такую картинку активации тем, что детям требовалось больше ресурсов внимания и рабочей памяти для достижения той же продуктивности вычислений в уме, что и взрослым. Тот факт, что у более молодых участников наблюдалась большая по сравнению с более взрослыми активация зон гиппокампа и дорсальных базальных ганглиев, связывался исследователями с тем, что юные участники больше обращались к ресурсам как декларативной, так и процедурной памяти в процессе вычислений [27]. То есть существует определенное направление развития организации мозговых связей по мере овладения навыками счета, меняющееся с возрастом и компетентностью считающего. По мере приобретения все большей компетентности в вычислениях акцент смещается с лобных долей и медиальных височных долей к теменным и затылочно-височным отделам, показывая сравнительное уменьшение потребности в ресурсах рабочей памяти для совершения необходимых вычислений по мере автоматизации процесса счета и овладения символическими обозначениями, значительно облегчающими работу с математической информацией [4]. Эти данные обобщаются и шире, показывая, что при исследовании мозговой организации счета правомерно разделять уже упомянутые арифметические факты и использование недавно приобретенных новых арифметических знаний, так как в процессе счета в первом случае больше активируется левая угловая извилина (при извлечении фактов из памяти), а в последнем случае — лобные доли и внутри-теменная борозда [16; 18].

Ключевым пунктом является то, что почти все арифметические или числовые процессы непосредственно связаны с теменной долей мозга, особенно с внутри-теменной бороздой, и их связями с левой лобной долей, что позволяет предположить, что именно эти зоны являются наиболее важными для переработки числовой информации и счета.

### **Причины дискалькулии**

Известно, что выполнение вычислений и других математических заданий включает в

работу одни и те же зоны мозга, однако разные исследователи по-разному трактуют эти связи и их функциональную направленность, пытаясь выделить один или несколько коренных дефицитов, приводящих к трудностям счета. Соответственно, они выделяют разные типы дискалькулии, основываясь на предполагаемой причине математических трудностей.

Одни исследователи считают, что в основе трудностей счета лежит специфический, чаще врожденный, «коренной» дефицит, связанный с нарушением переработки в мозге информации о количестве. Другие придерживаются мнения о том, что помимо специфических проблем с представлением о количестве трудности счета также связаны с нарушениями таких процессов, как переработка зрительно-пространственной информации, способность к отторжению нерелевантных стимулов, и дефектами рабочей памяти. Третьи находят более верным говорить не о единственном специфическом для математических трудностей дефиците, а скорее о нескольких специфических именно для математических навыков областях мозга. Рассмотрим подробнее каждую из концепций.

Получившая широкое распространение в последнее время модель «тройного кода» переработки числовой информации (The Triple Code model), впервые предложенная Dehaene в 1992 году [14], обозначает три важных домена, отвечающих за математику. К ним относятся числовое представление о количестве (куда можно отнести и «чувство числа» (number sense), связывается с активацией внутри-теменной борозды), зрительно-пространственные числовые представления (задние верхне-теменные области) и слухоречевые представления (извлечение из памяти математической информации, ассоциируемое с угловой извилиной и областями вблизи сильвиевой борозды).

Другой распространенной в настоящее время в западной нейропсихологии теорией происхождения трудностей счета является теория повреждения системы в мозге, отвечающей за представления о количестве (magnitude representation theory), согласно которой у страдающего дискалькулией на-

рушается или не формируется связь между числовым символом и количеством, которое этот символ представляет [9; 31].

Мозговым субстратом представлений о количестве считается область внутритеменной борозды [9]. Сейчас в литературе имеется большое количество данных о том, что внутритеменная борозда отвечает за представления о количественном значении (величине) числового символа [15; 25] в равной степени как об аналоговой величине или как о дискретном представлении, которое кодирует количество элементов во множестве. Это доказывается активацией зоны внутритеменной борозды во время обработки информации о количестве объектов в наборе [12]. Более того, когда функционирование внутритеменной борозды нарушено магнитной стимуляцией, затрагивается способность оценивать дискретные величины [11; 20].

Паттерны мозговой активности четырехлетних детей и взрослых показывают задействованные области в теменных долях обоих полушарий в ответ на изменения количества [10].

То, что внутритеменная борозда вовлекается как при выполнении простых, так и сложных вычислений, трактуется представителями этой теории как подтверждение того факта, что базовое представление о количестве задействовано всегда, даже при простом извлечении из памяти хорошо усвоенных знаний о сложении и вычитании чисел в пределах десятка [34]. По мнению сторонников теории представления о количестве как важнейшего маркера способности к счету, это согласуется с хорошо известным «эффектом размера задачи», при котором решение примеров на действия в пределах десятка занимает тем больше времени, чем больше значение числа, даже если это хорошо известные примеры [33]. Таким образом, исследователями, являющимися приверженцами этой теории, предполагается, что типично развивающиеся люди даже при извлечении из памяти уже известных фактов не могут не задействовать одновременно и свои представления о составе числа. Если такая связь не была установлена, способность производить вычисления с необходимостью повреждается [9]. Подтверждением такой трактовки служит

активация при счете внутритеменной борозды, которая связывается с представлением о количестве [9].

Приверженцы теории представления о количестве говорят о нескольких механизмах или дефицитах в представлении о количестве, которые приводят к трудностям счета. Разрабатывается так называемая теория системы приблизительной оценки количества (Approximate number system — ANS). Согласно этой теории в мозге существует специальный механизм, позволяющий быстро сравнивать несколько множеств (например, в заданиях о том, где больше точек — справа или слева). Именно этот механизм страдает у людей с дискалькулией. Также у людей с трудностями счета отмечается снижение способности оценивать количество элементов в небольших множествах «на глаз» (так называемый «subitizing»). В норме люди могут, не считая, сказать, сколько точек им предъявили, если количество предъявленных стимулов не больше 3-5. Эта способность сильно повреждена у людей с дискалькулией. Интересно, что все эти способности ассоциируются с активностью внутритеменной борозды, и ее активация во время предъявления заданий на счет в ходе нейровизуализационных исследований рассматривается приверженцами этой теории как подтверждение ее справедливости.

Однако в литературе отмечается, что внутритеменная борозда может ассоциироваться не только с представлением о количестве. Это дает простор для разработки теорий, объясняющих происхождение дискалькулии другими причинами. Так, рядом исследователей дискалькулия связывается со зрительно-пространственными функциями, в частности, зрительно-пространственной рабочей памятью и проблемами отторгивания нерелевантных стимулов (inhibitory control), которые также связываются с корой мозга, в том числе с внутритеменной бороздой [31].

Так, в результате проведения исследования Szucs et al. заключили, что теория представления о количестве не находит своего подтверждения. Вместо этого утверждалось, что центральной проблемой у страдающих дискалькулией являются нарушения зри-

тельно-пространственной непосредственной и рабочей памяти, а также оттормаживания (inhibition control) с нарушением способности к подавлению интерферирующих воздействий (interference suppression). Отмечается, что обе эти функции связаны с работой внутриременной борозды [31]. Основываясь на данных, полученных в своем исследовании, ученые выдвигают для дальнейшей проверки весьма интересную гипотезу. Они предполагают, что «чистая» дискалькулия может быть охарактеризована специфическим нарушением зрительно-пространственной краткосрочной памяти вместе со специфическим нарушением процессов оттормаживания, ключевых для зрительно-пространственной центральной управляющей памяти (central executive), что приводит к снижению рабочей памяти. Исследователи предполагают, что коррекционное вмешательство, направленное на улучшение указанных функций у детей с дискалькулией, поможет пролить свет на указанный вопрос. В заключение исследователи высказывают свою мысль о том, что, по-видимому, сами по себе процессы переработки пространственной информации детей с дискалькулией остаются неповрежденными, но доступ к ним замедлен из-за нарушения памяти/оттормаживания [31].

Интересно, что если данное предположение верно, то для выявления таких проблем с математикой у детей потребуется разработать более тонкий методический аппарат, так как данная гипотеза предполагает, что ни зрительно-пространственные функции сами по себе, ни зрительная или зрительно-пространственная память не повреждены значительным образом. Оттормаживание нерелевантных стимулов в других модальностях также может быть не затронуто или затронуто незначительно. Но нарушения будут на гораздо более тонком уровне — это затруднения в использовании (быстрота и регулярность доступа) зрительно-пространственной памяти. То есть повреждается способность работать в мысленном, ментальном «пространстве» краткосрочной зрительно-пространственной памяти в смысле возможности быстрой и последовательной смены планов (проявляя при

этом устойчивость к интерферирующим воздействиям).

Надо заметить, что в отечественной нейропсихологии именно первичная акалькулия (в отличие от лобной и оптической) связывалась с дефицитом зрительно-пространственных представлений и затылочн-теменными областями коры головного мозга [2]. Рассмотрев механизмы, лежащие в основе нарушения счета, обратимся к наиболее часто выделяемым в литературе видам дискалькулий.

### Классификация дискалькулий

В зарубежной литературе существует множество классификаций трудностей счета, особенно применительно к детской дискалькулии.

L. Kosc [22] описывает шесть видов дискалькулии, характеризующихся нарушениями: способности вербализировать математические термины и связи (1); способности к манипуляциям символами/математическими объектами (2); способности к чтению цифр (3); способности к написанию цифр (4); способности к пониманию математических идей (5); способности к осуществлению математических операций (6).

N. Badian [6] нашел, что у страдающих дискалькулией часто встречаются пространственные сложности, ассоциирующиеся с цифрами, первичная анарифмия (первичные трудности в осуществлении счета), дефекты внимания и серийной организации, но довольно редко дислексия и дисграфия при чтении и написании цифр.

D. Geary [17], проанализировав исследование, посвященное как дискалькулии развития (developmental dyscalculia), так и приобретенным дефицитам в сфере счетных навыков, основывал свою классификацию нарушений счета на типе встречающихся ошибок. Он выделил три типа дискалькулии. К первому типу по его классификации относятся нарушения, характеризующиеся затруднением извлечения из памяти арифметических фактов, включая трудности с запоминанием табличных значений (таких как таблица умножения). Причем он указал, что дети, относящиеся к данному типу, чаще страдают также



коморбидными расстройствами чтения (1). Ко второму типу относятся трудности процедурного характера, такие как невозможность или затруднения при овладении приемами арифметических вычислений, таких, например, как знание о возможности «занять» единицы при вычитании в столбик или стратегии, используемые при сложении (2). К третьему типу относятся расстройства счета, связанные с затруднениями в понимании и использовании зрительно-пространственных отношений для представления и интерпретации числовой информации (3). Первые два типа дискалькулии соотносятся с дисфункциями или поражениями задних корковых отделов левого полушария или подкорковых структур, а последний тип связан с нарушениями работы задних отделов правого полушария [17].

B. Rourke [29] выделял два типа детской дискалькулии: 1) дискалькулия, связанная с речевыми проблемами (дислексия), нарушениями в понимании инструкций и вербальных заданий и с сокращенным объемом вербальной памяти (левое полушарие); 2) дискалькулия, связанная с пространственно-временными трудностями, с нарушениями порядка и перестановкой цифр (правое полушарие).

G. Karagiannakis [21; 30] (2014) выделял 4 типа дискалькулии. К первому он отнес дискалькулию, предполагающую повреждение систем внутреннего представления о количестве, таких как система приблизительной оценки количества (ANS), система слежения за объектом (OTS), символическая репрезентация, кодирование числовой информации. Ко второму типу он причислял дискалькулии, связанные с нарушениями памяти (рабочей и семантической). В третью категорию попадали дискалькулии, наблюдаемые в результате дисфункциональности мышления из-за нарушения управляющих функций. Четвертая категория связывалась со зрительно-пространственными функциями [21].

В проанализированной нами современной отечественной литературе, включающей статьи, вышедшие в последние 10-15 лет, большинство авторов не предлагают собственных классификаций дискалькулии. Как правило, в рассмотренных нами работах авторы разли-

чают вторичные и первичные дискалькулии, а также врожденные и приобретенные. Основное внимание при этом уделяется классификации, предложенной Kosс еще в 70-х годах прошлого века (Р.И. Лалаева, А. Гермаковска, С.Ю. Кондратьева, Н.Н. Рысина, А.В. Грибанов, А.А. Плотникова).

Как видно из приведенных работ, выделяемые разными учеными виды дискалькулий отличаются как по принципу, положенному в основу классификации, так и по выделяемым типам на основании схожего принципа. Анализ различных классификаций дискалькулий показывает, что выделение различных типов нарушений счета часто носит внешний характер, основывается на феноменологии и клинических проявлениях, не принимая во внимание механизмов, лежащих в основе дефицита. На наш взгляд, типология трудностей счета должна основываться на структурно-функциональных различиях, которые вызывают тот или иной тип трудностей счета, и учитывать принципы системности в строении высших психических функций [2].

## Выводы

Анализ исследований, посвященных проблеме выявления механизмов и причин нарушений счета и трудностей обучения счетным навыкам, приводит к выводу о противоречивости эмпирических результатов и позволяет говорить о недостаточной разработанности указанных вопросов. При сходном влиянии на функционирование и качество жизни проблемы дискалькулии менее изучены, чем проблемы дислексии. Успехи новых методов исследования привели к согласию большинства ученых относительно мозгового субстрата переработки количественной информации с наибольшей вовлеченностью теменных и лобных областей. Однако относительно причин нарушений счета и трудностей овладения счетными навыками, а также выделения типов дискалькулии такого единства не наблюдается. Большинство представленных в литературе классификаций дискалькулий основывается скорее на их клинических проявлениях, а не на психологическом анализе системной динамической организации счета, и без учета

структурно-функциональных различий мозговой организации, характерных для того или иного подтипа дискалькулии. Между тем, эти вопросы являются первостепенными для коррекционно-развивающего обучения детей с трудностями обучения счету и реабилитации детей и взрослых после поражения мозга как травматического, так и нетравматического ге-

неза. При проведении будущих исследований наиболее эвристичным представляется путь уточнения причин дискалькулии, основанный на анализе психологической структуры счета и ее изменений под влиянием обучения с учетом структурно-функциональных особенностей мозговой организации процессов переработки количественной информации.

### Литература

1. *Выготский Л.С.* Собрание сочинений: В 6 т. Т. 1. Психология и учение о локализации высших психических функций. М.: Педагогика, 1982. С. 168.
2. *Лурия А.Р.* Высшие корковые функции человека. СПб.: Питер, 2008. 624 с.
3. *Anobile G. et. al.* Three-systems for visual numerosity: a single case study // *Neuropsychologia*. 2020. Vol. 136. P. 107259. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2019.107259
4. *Ansari D.* Effects of development and enculturation on number representation in the brain // *Nature Reviews Neuroscience*. 2008. Vol. 9. № 4. P. 278—291. DOI:10.1038/nrn2334
5. *Ardila A., Rosseli M.* Acalculia and Dyscalculia // *Neuropsychology Review*. 2002. Vol. 12. № 4. P. 179—231. DOI:10.1023/A:1021343508573
6. *Badian N., Ghublikian M.* The personal-social characteristics of children with poor mathematical computation skills // *Journal of Learning Disabilities*. 1983. Vol. 16. № 3. P. 154—157. DOI:10.1177/002221948301600304
7. *Bartelet D et. al.* Cognitive subtypes of mathematics learning difficulties in primary education // *Research in Developmental Disabilities*. 2014. Vol. 35. № 3. P. 657—670. DOI:10.1016/j.ridd.2013.12.010
8. *Bugden S., Ansari D.* Probing the nature of deficits in the 'approximate number system' in children with persistent developmental dyscalculia // *Developmental science*. 2016. Vol. 19. № 5. P. 817—833. DOI:10.1111/desc.12324
9. *Butterworth B., Varma S., Laurillard D.* Dyscalculia: From Brain to Education // *Science*. 2011. Vol. 332. № 6033. P. 1049—1053. DOI:10.1126/science.1201536
10. *Cantlon J. et. al.* Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children // *PloS Biology*. 2006. Vol. 4. № 5. P. e125. DOI:10.1371/journal.pbio.0040125
11. *Cappelletti M. et. al.* rTMS over the intraparietal sulcus disrupts numerosity processing // *Experimental Brain Research*. 2007. Vol. 179. № 4. P. 631—642. DOI:10.1007/s00221-006-0820-0
12. *Castelli F., Glaser D., Butterworth B.* Discrete and analogue quantity processing in the parietal lobe: A functional MRI study // *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*. 2006. Vol. 103. № 12. P. 4693—4698. DOI:10.1073/pnas.0600444103
13. *Cohen et. al.* Tactile enumeration: A case study of acalculia // *Brain and cognition*. 2018. Vol. 127. P. 60—71. DOI:10.1016/j.bandc.2018.10.001
14. *Dehaene S.* Varieties of numerical abilities // *Cognition*. 1992. Vol. 44. № 1—2. P. 1—42. DOI:10.1016/0010-0277(92)90049-N
15. *Dehaene S. et. al.* Three parietal circuits for number processing // *Cognitive neuropsychology*. 2003. Vol. 20. № 3—6. P. 487—506. DOI:10.1080/02643290244000239
16. *Delazer M. et. al.* Learning by strategies and learning by drill-evidence from an fMRI study // *Neuroimage*. 2005. Vol. 25. № 3. P. 838—849. DOI:10.1016/j.neuroimage.2004.12.009
17. *Geary D.* Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological, and genetic components // *Psychological bulletin*. 1993. Vol. 114. № 2. P. 345. DOI:10.1037/0033-2909.114.2.345
18. *Ischebek A. et. al.* Flexible transfer of knowledge in mental arithmetic — An fMRI study // *Neuroimage*. 2009. Vol. 44. P. 1103—1112. Цит. по *Butterworth B., Varma S., Laurillard D.* Dyscalculia: From Brain to Education // *Science*. 2011. Vol. 332. № 6033. P. 1049—1053. DOI:10.1126/science.1201536
19. *Jang S., Hyde D.* Hemispheric asymmetries in processing numerical meaning in arithmetic // *Neuropsychologia*. 2020. Vol. 146. P. 107524. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107524
20. *Kadosh R. et. al.* Virtual Dyscalculia Induced by Parietal-Lobe TMS Impairs Automatic Magnitude Processing // *Current Biology*. 2007. Vol. 17. № 8. P. 689—693. DOI:10.1016/j.cub.2007.02.056
21. *Karagiannakis G., Baccaglioni-Frank A., Papadatos Y.* Mathematical learning difficulties subtypes classification // *Frontiers in human neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 57. DOI:10.3389/fnhum.2014.00057
22. *Kosc L.* Psychology and psychopathology of mathematical abilities // *Studia psychologica*. 1970. Vol. 12. № 2. P. 159162. Цит. по *Ardila A., Rosseli M.* Acalculia and Dyscalculia // *Neuropsychology Review*. 2002. Vol. 12. № 4. P. 179—231. DOI:10.1023/A:1021343508573
23. *Matejko A.A., Ansari D.* Drawing connections between white matter and numerical and mathematical cognition: a literature review // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2015. Vol. 48. P. 35—52. DOI:10.1016/j.neubiorev.2014.11.006



24. McCaskey U. et al. Persistent differences in brain structure in developmental dyscalculia: a longitudinal morphometry study // *Frontiers in human neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 272. DOI:10.3389/fnhum.2020.00272
25. Pinel P. et al. Modulation of Parietal Activation by Semantic Distance in a Number Comparison Task // *NeuroImage*. 2001. Vol. 14. № 5. P. 1013—1026. DOI:10.1006/nimg.2001.0913
26. Raghobar K. et al. Mathematical outcomes and working memory in children with TBI and orthopedic injury // *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*. 2013. Vol. 19. № 3. P. 254. DOI:10.1017/S1355617712001312
27. Rivera S. et al. Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex // *Cerebral cortex*. 2005. Vol. 15. № 11. P. 1779—1790. DOI:10.1093/cercor/bhi055
28. Rotzer S. et al. Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia // *Neuropsychologia*. 2009. Vol. 47. № 13. P. 2859—2865. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
29. Rourke B. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective // *Journal of Learning disabilities*. 1993. Vol. 26. № 4. P. 214—226. DOI:10.1177/002221949302600402
30. Soares N., Evans T., Patel D. Specific learning disability in mathematics: a comprehensive review // *Translational pediatrics*. 2018. Vol. 7. № 1. P. 48. DOI:10.21037/tp.2017.08.03
31. Szucs D. et al. Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment // *Cortex*. 2013. Vol. 49. № 10. P. 2674—2688. DOI:10.1016/j.cortex.2013.06.007
32. van Harskamp N.J., Cipolotti L. Selective impairments for addition, subtraction and multiplication. Implications for the organisation of arithmetical facts // *Cortex*. 2001. Vol. 37. № 3. P. 363—388. DOI:10.1016/S0010-9452(08)70579-3
33. Zbrodoff N.J., Logan G.D. What everyone finds: The problem-size effect. *Handbook of Mathematical Cognition*. Edited by: Campbell JD. NY: Psychology Press, 2005. P. 331—346.
34. Zhoe X. et al. Dissociated brain organization for single-digit addition and multiplication // *Neuroimage*. 2007. Vol. 35. № 2. P. 871—880. DOI:10.1016/j.neuroimage.2006.12.017

## References

1. Vygotskii L.S. *Sobranie sochinenii: V 6 t. T. 1. Psikhologiya i uchenie o lokalizatsii vysshikh psikhicheskikh funktsii* [Collected Works: in 6 vol. Vol. 1. Psychology and the doctrine of the localization of higher mental functions]. Moscow: Pedagogika, 1982, p. 168. (In Russ.)
2. Luriya A.R. *Vysshie korkovye funktsii cheloveka* [Higher Cortical Functions in Man]. Saint-Petersburg: Piter, 2008. 624 p. (In Russ.)
3. Anobile G. et al. Three-systems for visual numerosity: a single case study. *Neuropsychologia*, 2020. Vol. 136, pp. 107259. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2019.107259
4. Ansari D. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 2008. Vol. 9, no. 4, pp. 278—291. DOI:10.1038/nrn2334
5. Ardila A., Rosseli M. Acaculia and Dyscalculia. *Neuropsychology Review*, 2002. Vol. 12, no. 4, pp. 179—231. DOI:10.1023/A:1021343508573
6. Badian N., Ghublikian M. The personal-social characteristics of children with poor mathematical computation skills. *Journal of Learning Disabilities*, 1983. Vol. 16, no. 3, pp. 154—157. DOI:10.1177/002221948301600304
7. Bartelet D et al. Cognitive subtypes of mathematics learning difficulties in primary education. *Research in Developmental Disabilities*, 2014. Vol. 35, no. 3, pp. 657—670. DOI:10.1016/j.ridd.2013.12.010
8. Bugden S., Ansari D. Probing the nature of deficits in the 'approximate number system' in children with persistent developmental dyscalculia. *Developmental science*, 2016. Vol. 19, no. 5, pp. 817—833. DOI:10.1111/desc.12324
9. Butterworth B., Varma S., Laurillard D. *Dyscalculia: From Brain to Education*. *Science*, 2011. Vol. 332, no. 6033, pp. 1049—1053. DOI:10.1126/science.1201536
10. Cantlon J. et al. Functional Imaging of Numerical Processing in Adults and 4-y-Old Children. *PLoS Biology*, 2006. Vol. 4, no. 5, pp. e125. DOI:10.1371/journal.pbio.0040125
11. Cappelletti M. et al. rTMS over the intraparietal sulcus disrupts numerosity processing. *Experimental Brain Research*, 2007. Vol. 179, no. 4, pp. 631—642. DOI:10.1007/s00221-006-0820-0
12. Castelli F., Glaser D., Butterworth B. Discrete and analogue quantity processing in the parietal lobe: A functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 2006. Vol. 103, no. 12, pp. 4693—4698. DOI:10.1073/pnas.0600444103
13. Cohen et al. Tactile enumeration: A case study of acaculia. *Brain and cognition*, 2018. Vol. 127, pp. 60—71. DOI:10.1016/j.bandc.2018.10.001
14. Dehaene S. Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 1992. Vol. 44, no. 1—2, pp. 1—42. DOI:10.1016/0010-0277(92)90049-N
15. Dehaene S. et al. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 2003. Vol. 20, no. 3—6, pp. 487—506. DOI:10.1080/02643290244000239
16. Delazer M. et al. Learning by strategies and learning by drill-evidence from an fMRI study. *Neuroimage*,

2005. Vol. 25, no. 3, pp. 838—849. DOI:10.1016/j.neuroimage.2004.12.009
17. Geary D. Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological bulletin*, 1993. Vol. 114, no. 2, pp. 345. DOI:10.1037/0033-2909.114.2.345
18. Ischebek A. et. al. Flexible transfer of knowledge in mental arithmetic — An fMRI study. *Neuroimage*, 2009. Vol. 44, pp. 1103—1112. Cit. ex Butterworth B., Varma S., Laurillard D. Dyscalculia: From Brain to Education. *Science*, 2011. Vol. 332, no. 6033, pp.1049—1053. DOI: 10.1126/science.1201536
19. Jang S., Hyde D. Hemispheric asymmetries in processing numerical meaning in arithmetic. *Neuropsychologia*, 2020. Vol. 146, pp. 107524. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2020.107524
20. Kadosh R. et. al. Virtual Dyscalculia Induced by Parietal-Lobe TMS Impairs Automatic Magnitude Processing. *Current Biology*, 2007. Vol. 17, no. 8, pp. 689—693. DOI:10.1016/j.cub.2007.02.056
21. Karagiannakis G., Baccaglini-Frank A., Papadatos Y. Mathematical learning difficulties subtypes classification. *Frontiers in human neuroscience*, 2014. Vol. 8, pp. 57. DOI:10.3389/fnhum.2014.00057
22. Kosc L. Psychology and psychopathology of mathematical abilities. *Studia psychologica*, 1970. Vol. 12, no. 2, pp. 159—162. Cit. ex Ardila A., Rosseli M. Acalculia and Dyscalculi. *Neuropsychology Review*, 2002. Vol. 12, no. 4, pp. 179—231. DOI:10.1023/A:1021343508573
23. Matejko A.A., Ansari D. Drawing connections between white matter and numerical and mathematical cognition: a literature review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2015. Vol. 48, pp. 35—52. DOI:10.1016/j.neubiorev.2014.11.006
24. McCaskey U. et. al. Persistent differences in brain structure in developmental dyscalculia: a longitudinal morphometry study. *Frontiers in human neuroscience*, 2020. Vol. 14, pp. 272. DOI:10.3389/fnhum.2020.00272
25. Pinel P. et. al. Modulation of Parietal Activation by Semantic Distance in a Number Comparison Task. *NeuroImage*, 2001. Vol. 14, no. 5, pp. 1013—1026. DOI:10.1006/nimg.2001.0913
26. Raghobar K. et. al. Mathematical outcomes and working memory in children with TBI and orthopedic injury. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 2013. Vol. 19, no. 3, pp. 254. DOI:10.1017/S1355617712001312
27. Rivera S. et. al. Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral cortex*, 2005. Vol. 15, no. 11, pp. 1779—1790. DOI:10.1093/cercor/bhi055
28. Rotzer S. et. al. Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, 2009. Vol. 47, no. 13, pp. 2859—2865. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009
29. Rourke B. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 1993. Vol. 26, no. 4, pp. 214—226. DOI:10.1177/002221949302600402
30. Soares N., Evans T., Patel D. Specific learning disability in mathematics: a comprehensive review. *Translational pediatrics*, 2018. Vol. 7, no. 1, pp. 48. DOI:10.21037/tp.2017.08.03
31. Szucs D. et. al. Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment. *Cortex*, 2013. Vol. 49, no. 10, pp. 2674—2688. DOI:10.1016/j.cortex.2013.06.007
32. van Harskamp N.J., Cipolotti L. Selective impairments for addition, subtraction and multiplication. Implications for the organisation of arithmetical facts. *Cortex*, 2001. Vol. 37, no. 3, pp. 363—388. DOI:10.1016/S0010-9452(08)70579-3
33. Zbrodoff N.J., Logan G.D. What everyone finds: The problem-size effect. *Handbook of Mathematical Cognition*. Edited by: Campbell JD. NY: Psychology Press, 2005, pp. 331—346.
34. Zhoe X. et. al. Dissociated brain organization for single-digit addition and multiplication. *Neuroimage*, 2007. Vol. 35, no. 2, pp. 871—880. DOI:10.1016/j.neuroimage.2006.12.017

### Информация об авторах

Глиник Ольга Александровна, аспирантка кафедры нейро- и патопсихологии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова); младший научный сотрудник, ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» (НИИ НДЖИТ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9092-9742>, e-mail: [bugayevaolga@gmail.com](mailto:bugayevaolga@gmail.com)

### Information about the authors

Olya A. Glinik, PhD Student in Clinical Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Junior Research Associate, Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma (CRI-EPST), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9092-9742>, e-mail: [bugayevaolga@gmail.com](mailto:bugayevaolga@gmail.com)

Получена 05.04.2021

Принята в печать 10.02.2022

Received 05.04.2021

Accepted 10.02.2022