

УДК 159.9.072

ОСОБЕННОСТИ МЫСЛЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ДВУМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗНЫХ ТИПОВ ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Я.А. Галеева¹, О.А. Гончаров^{1,2}

¹ Государственный университет «Дубна», Россия, 141980, Московская обл., Дубна, ул. Университетская, 19

² Институт общественных наук РАНХиГС при Президенте РФ, Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82

Резюме

Проведено исследование мысленного вращения трех типов двумерных стимулов – вербализуемых, трудновербализуемых единичных фигур и визуальных ритмов – с целью выявления значимых факторов, влияющих на правильность и скорость переработки визуальной информации каждого из типов. Стимулы предъявлялись с четырьмя углами вращения во фронтальной плоскости: 30, 45, 90, 180°. В исследовании участвовали три возрастные группы: дети от 5 до 7,5 лет, не обучающиеся в школе, школьники от 7 лет и 8 месяцев до 12 лет и взрослые старше 18 лет, всего 87 человек. Установлена нелинейная динамика изменения времени решения задачи мысленного вращения при увеличении угла поворота фигур: наименьшее время наблюдалось при угле в 45°, далее при увеличении угла вращения оно возрастало, однако при угле вращения в 30° время реакции превышало время в 45°. Установлено также значимое влияние взаимодействия факторов типа стимула и угла вращения на время решения задачи: для разных типов стимулов траектория зависимости времени решения от угла поворота имеет разную кривизну. Выявлено, что наличие в стимуле визуального ритма может значимо увеличивать время ответа при угле вращения в 180°. Поскольку были выявлены значимые различия между дошкольниками и младшими школьниками в количестве ошибок, подтверждается факт возрастного развития функции мысленного вращения. В младшем школьном возрасте эта функция в достаточной мере сформирована. Полученные данные будут полезны при разработке средств визуальной коммуникации и диагностических методик.

Ключевые слова: зрительное восприятие; серии фигур; мысленное вращение; двумерные объекты; визуальные ритмы; пространственные способности; возрастное развитие; скорость восприятия; ошибки восприятия

Благодарности: Мы благодарим за содействие в проведении исследования администрацию Гимназии № 16 и Детского центра «Радуга жизни» г. Люберцы Московской области, частной школы «Школа XXI век» г. Москвы и воскресной школы при Храме Вмч. Георгия Победоносца в Старых Лучниках г. Москвы.

Введение в проблематику исследования

В структуре когнитивной сферы способность к мысленному вращению представлений объектов относят к группе пространственных способностей человека. По определению одних авторов, эту способность выделяют в отдельную группу пространственных способностей наряду со способностью к ориентированию в пространстве и способностью к пространственной визуализации (Pic, Đukić, 2017), по определению других – как составную часть пространственной визуализации (Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, Hegarty, 2001).

В науке накоплены данные по поводу связи результатов тестов мысленного вращения с углом вращения, но большинство исследований охватывало узкую группу объектов.

Зависимость от угла вращения впервые исследовалась Р. Шепардом и Ж. Менцлер на примере плоскостных изображений трудновербализуемых трехмерных фигур. Исследователями была установлена линейно возрастающая зависимость скорости распознавания изображений объекта, вращающегося в диапазоне 20–180° как во фронтальной плоскости, так и в глубину (Shepard, Mentzler, 1971). В исследованиях М.М. Weiss и соавт. выявлена разница в паттернах активации областей мозга при предъявлении чисел и букв и зеркально отраженных символов. Было установлено, что «время реакции и количество ошибок линейно увеличивались с увеличением угла поворота только для зеркально отраженных символов» (2009). При предъявлении чисел и букв в этих областях активность не определялась углом поворота, поскольку для категоризации не требовалось преобразования изображения. Было определено, что только задача на мысленное вращение требует преобразования изображения, и нейронная активность в этом случае определяется углом поворота (Weiss, Wolbers, Peller, Witt, Marshall, Buchel, Siebner, 2009).

В других исследованиях установлена значимая ($p < 0,05$) корреляция между тестами двумерных фигур (Card Rotation, Flags, Letter Rotation) и тестами пространственного восприятия с фигурами, разворачивающимися в глубину (Space Rotation) от $r = 0,42$ до $0,58$ (Miyake et al., 2001), значимая ($p < 0,01$) между тестами мысленного вращения разных двумерных объектов: букв и картинок с изображением людей и животных в размере $r = 0,73$, между трехмерными сложными фигурами и двумерными изображениями букв ($r = 0,56$) и картинок с людьми и животными ($r = 0,57$) (Rüsseler, Scholz, Jordan, Quaiser-Pohl, 2005); для двумерных флагов и схематичных узоров установлено, что фактор пространственной визуализации в высокой степени вовлекает компонент произвольной регуляции и контроля (Miyake et al., 2001), для иных двумерных изображений выявлено, что показатели продуктивности рисуночного теста мысленного поворота на 180° у детей 6–9 лет имеют большой разброс (Ахутина, 2016). Для иных трехмерных однотонных и пестрых изображений было установлено, что при низком уровне развития навыка мысленного вращения субъект использует фраг-

ментарную стратегию вращения фигуры по частям, выделяя окрашенные участки, а при высоком – холистическую, т.е. вращение целой фигуры (Khooshabeh, Hegarty, 2008). В этом исследовании также определено, что при низкой способности к мысленному вращению быстрее и точнее идентифицируется фигура одного цвета, при низком уровне развития пространственных способностей цвет объекта имеет большее значение, поскольку он упоминался в вербальных отчетах чаще, чем у людей с высокоразвитыми пространственными способностями (Khooshabeh, Hegarty, 2008).

Для вербализуемых фигур обнаружены отличия в паттерне реакции, например, для кистей рук, которые объясняются авторами фактом близкого знакомства участников с объектом вращения (Cheng, Hegarty, Chrastil, 2020). Для вербализуемых объектов разных значений – букв и цифр – в исследовании с фМРТ установлено, что время реакции в тесте мысленного вращения на цифровые стимулы больше, чем на буквы (Gogos, Gavrilesco, Davison, Searle, Adams, 2010).

Также был зафиксирован эффект наклона, состоящий в уменьшении остроты зрения при предъявлении наклонных паттернов и снижении восприятия наклонных фигур на фоне в сравнении с вертикально ориентированными у людей и животных (Шиффман, 2003). По данным Майер, эффект наклона с возрастом усиливается (Шиффман, 2003).

По данным исследований L. Wei и соавт. с применением фМРТ, при предъявлении угловатых или округлых форм существенных отличий в паттернах активации мозга не выявлено (2023). По данным S. Helie (2017), при повышении уровня сложности визуальных условий, например при наличии шума, наблюдаются изменения в областях мозга, связанных с визуальной обработкой, где зрительная система извлекает стимул, а в областях мозга, связанных с категоризацией, изменений не отмечено. T. Lauer, V. Willenbockel, L. Maffongelli (2020) было показано, что ориентация объекта, сцены, а также их комбинация влияет на идентификацию объекта.

В ряде исследований также установлено влияние индивидуальных характеристик участников исследований:

– пространственных способностей (Vandenberg, Kuse, 1978): установлена корреляция с другими тестами пространственных способностей;

– отсутствие связи с вербальными способностями (Vandenberg, Kuse, 1978)

– половой принадлежности (Vandenberg, Kuse, 1978; Harris, Egan, Sonkila, Tochon-Danguy, Paxinos, 2000; Quinn, Liben, 2008; Semrud-Clikeman, Fine, Bledsoe, Zhu, 2012; Nagy-Kondor, Sörös, 2012; Katsioloudis, Jovanovic, Jones, 2014; Moore D. S., Moore, Johnson, 2024). Исследования затрагивали различные возрастные группы: от младенцев до взрослых;

– эмоциональных состояний субъекта (Nissan, Shapira, Liberman, 2015);

– право- и леворукости (в исследовании вращения изображений рук) (Cheng et al., 2020);

– общего интеллекта (Jones, Anuza, 1982; Johnson, 1990; Hertzog, Rypma, 1991);

– двигательного развития (Moreau, 2012; Pietsch, Jansen, 2012; Jansen, Kellner, 2015; Schmidt, Egger, Kieliger, Rubeli, Schüler, 2016).

В эксперименте Р. Шепарда и Ж. Менцлер в словесных отчетах участников значилось, что одно из изображений они мысленно поворачивали в ту же пространственную ориентацию, в которой было расположено и второе изображение, и только тогда сравнивали обе формы (Shepard, Mentzler, 1971). Такой мысленный поворот возможен при двух условиях: сформированном умении соотносить плоскостные изображения с трехмерными объектами в реальности (т.е. перекодировании двумерного изображения в трехмерный объект) и наличии пространственной модели, в которой мысленный поворот будет различаться субъектом. Оба этих условия требуют наличия соответствующей подготовки, которая, по всей вероятности, должна зависеть как от возраста, так и от культурной составляющей. В кросскультурных исследованиях с участием взрослых, никогда не имевших дела с чтением схем и двухмерных проекций трехмерных объектов, были обнаружены сильные затруднения респондентов в понимании глубины изображений на плоскости (Гончаров, 2007). Различия в сформированности пространственных представлений могут возникать в связи с культурными особенностями, уровнем образования, экологическими факторами привычной среды проживания (Ахутина, 2016).

По поводу генеза пространственных представлений в психологии существует два направления. Первое анализирует смену ведущих осей, вдоль которых происходит дифференциация положения и формы объектов, однако единого мнения по этому поводу у исследователей нет (Гончаров, 2007; Семаго, Семаго, 2016). Другая гипотеза принадлежит Ж. Пиаже и состоит в последовательной смене топологических, проективных и координатных представлений, относящихся к разным разделам геометрии (Вюрпилло, 1978). Координатные представления отвечают за дифференциацию право- и левостороннего направления, поскольку они опираются на геометрию Эвклида. Рядом исследователей разделяется гипотеза, что онтогенетически более ранние модели не вытесняются более поздними, а переводятся как бы в резервный режим и задействуются в случае дефицита информации или затрудненных условий восприятия, когда метрические представления не могут быть информативны (Гончаров, 2007; Tittle, Todd, Perotti, Norman, 1995; Todd, Chen, Norman, 1998). Кроме того, применение представлений разных типов может определяться и задачами восприятия. Топологическими представлениями пользуются дети до 7 лет. Но и во взрослом возрасте на топологических представлениях основаны различение большинства букв, идентификация лиц, узнавание символической информации, оценка местоположения объектов на основе пространственных прототипов (Гончаров, 2007; Солсо, 2012; Plumert, Hund, 2001).

Представления о проективных свойствах пространства, по данным многих исследователей, начинают появляться в возрасте около 4 лет (Гончаров, 2007; Huttenlocher, Newcombe, Vasilyeva, 1999). Ошибки, свидетель-

ствующие о недостатках формирования проективных и координатных представлений, могут встречаться в работах детей вплоть до 10–12 лет или до 14 лет (Ченцов, Симерницкая, Обухова, 1980; Гончаров, 2007). Опираясь на теорию двойного кодирования А. Раivio (1986), О.А. Гончаров (2007) предложил «выделение двух типов пространственных представлений: конкретных (зрительных топологических) и абстрактных (вербализуемых проективных и координатных)». Абстрактный уровень пространственных представлений связан с формированием представлений об абстрактной модели пустого гомогенного трехмерного пространства по Эвклиду. Из сравнительных исследований с участием детей с нарушениями зрения, с двигательными нарушениями и детей, обучающихся в художественной школе, можно заключить, что на развитие абстрактных координатных пространственных представлений значительное влияние оказывает не обучение вообще, а развитие функции вербализации (Гончаров, 2007).

Цели, задачи, гипотезы исследования

Несмотря на то, что данных исследований способности мысленного вращения накоплено много, остается неясным, в чем причина различия в паттернах скорости обработки разных объектов (например, изображений рук и трудновербализуемых трехмерных стимулов). Коль скоро обнаружена связь с другими тестами пространственных способностей, какова онтогенетическая картина формирования способности к мысленному вращению? Подчиняется ли она той же закономерности, что и формирование зрительно-пространственной сферы в целом?

Логично будет ожидать следующее:

1) с 4 до 7 лет ребенок учится ориентированию по простейшим планам-схемам, в 7–11 лет (иногда до 14 лет) ребенок учится ориентированию в Эвклидовом пространстве. Следовательно, можно ожидать, что наибольшие трудности в определении лево- и правосторонности в направленности объектов должны встречать дети в возрасте до 7 лет;

2) способность к развитию координатных пространственных представлений тесно связана со способностью к вербализации.

В настоящем исследовании было использовано три вида стимулов. Сравнение особенностей мысленного вращения вербализуемых и трудновербализуемых фигур позволит оценить влияние фактора наличия семантической составляющей в стимуле на решение задачи. Мы также включили и визуальные ритмы, представляющие собой изображения серий фигур. С одной стороны, визуальные ритмы можно отнести к трудновербализуемым стимулам, с другой стороны, эти стимулы сложнее для восприятия, поскольку включают несколько фигур и остается неясным, насколько это повлияет на мысленное вращение, есть ли различия с мысленным вращением единичных фигур. Влияние возраста респондента на скорость мысленного вращения стимулов разных типов не исследовалась. Эти вопросы составят задачи нашего исследования.

Участники исследования

В исследовании приняли участие 87 человек в возрасте от 5 до 74 лет. Мы разделили всех участников на три возрастные группы: дошкольники от 5 лет до 7,5 лет, школьники от 7 лет и 8 месяцев до 12 лет, взрослые (старше 18 лет).

Все участники имели нормальное зрение или скорректированное до нормального.

Поскольку в выборке были случаи отсутствия у конкретных участников верного ответа для изображений определенного типа при конкретных углах поворота или слишком долгое время ответа, выходящее за пределы 3σ , то данные этих участников в анализе времени ответов не учитывались, но для анализа ошибок был использован весь массив данных. Поэтому количество респондентов в описании выборки имеет два значения: для анализа времени и для анализа правильности ответов (табл. 1).

Таблица 1

Половозрастной состав выборки

| Возрастные группы | Возрастные границы | Средний возраст | σ | Пол | | Всего |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|----------|---------|---------|---------|
| | | | | мужской | женский | |
| Дошкольники | От 5 до 7 лет и 6 месяцев | 6,66 | 0,51 | 9 (7) | 24 (19) | 33 (26) |
| Младшие школьники | От 7 лет и 8 месяцев до 12 лет | 9,89 | 1,48 | 8 (8) | 16 (15) | 24 (23) |
| Взрослые | От 18 до 74 лет | 45,89 | 13,73 | 10 (10) | 20 (19) | 30 (29) |
| Вся выборка | | | | 27 (25) | 60 (53) | 87 (78) |

Стимульный материал и методы исследования

В работе использовались изображения двумерных объектов, не содержащих признаков глубины, поэтому влияние способности к восприятию плоских изображений трехмерных объектов было исключено. Это дало нам возможность включить в исследование детей от 5 лет. Для выяснения влияния наличия семантической составляющей в объекте на скорость его мысленного вращения мы разделили все объекты на 3 группы (рис. 1): понятные, вербализуемые объекты (кот, рыба, дом, лягушка); трудновербализуемые (абстрактные) объекты; визуальный ритм графических объектов (абстрактных изображений и орнаментов).

Под **визуальным ритмом** (ВР) мы понимаем структуру группировки в пространстве единиц зрительного восприятия, создаваемую по некоторому правилу. Независимое от графического или семантического содержания единиц правило ВР определяет как паттерн пространственного распределения единиц зрительного восприятия, так и порядок их включения в ВР. Более подробно понятие ВР освещается в нашей статье (Галева, Гончаров 2025).

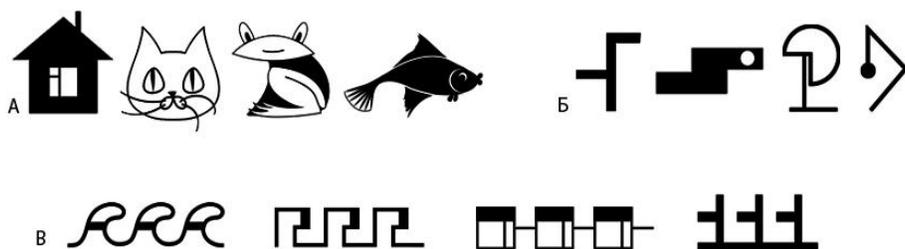


Рис. 1. Типы объектов: *A* – вербализуемые фигуры; *Б* – трудновербализуемые фигуры; *В* – визуальные ритмы

В настоящем исследовании использовались ВР одного типа: безпустотные безакцентные регулярные ВР повторяющихся единиц, организованные в одном направлении.

Тестирование проходило с использованием специально разработанной компьютерной программы *Tester*, замерявшей время ответа и его правильность. Респонденты располагались сидя перед ноутбуком с экраном с диагональю 15,6", расстояние до экрана 35–50 см.

Перед тестированием с каждым участником было проведено обучение; если он успешно решал задачи, то допускался до исследования. Обучение состояло в нахождении изображения кофейника среди двух зеркальных изображений того же кофейника, развернутого под интересующими нас углами. Это изображение не повторялось в стимульном материале программы.

Инструкция участнику на вводном экране: «Посмотри на рисунок в верхней части экрана. Найди его в нижней части экрана. Если он слева, нажми на клавиатуре стрелочку налево. Если он справа, нажми на клавиатуре стрелочку направо. Решай как можно скорее! Желаем успехов!». Поскольку не все дети умели читать, дошкольникам и первоклассникам инструкцию зачитывал психолог.

После экрана с инструкцией предлагалось три обучающих экрана для знакомства с программой. Психолог информировал участника: «Сейчас будет обучалка, машина будет тебе сообщать, правильно ли ты ответил. Потом начнется основная сессия, когда машина уже не будет ничего сообщать, и нужно будет все решать самостоятельно». Программа выводила изображение на экран и ожидала от пользователя нажатия одной из двух стрелок на клавиатуре. Нажатия на другие клавиши программой игнорировались. После ответа участника под выбранным им стимулом появлялся маленький желтый кружок, и программа выводила крупное сообщение «Правильно» или «Ошибка», демонстрировала это сообщение 1 секунду, затем убирала изображение, демонстрировала белый экран в течение 1 секунды, затем выводила на экран новое задание.

Когда респондент решал третью обучающую пробу, психолог информировал, что теперь программа не будет сообщать, правильно ли он ответил, и просил отвечать как можно скорее. Программа предупреждала участника экраном с надписью «Начинаем» и зеленым бегунком под ним.

Затем выводился экран с заданием, и программа ожидала ответа, повторяя цикл. Пример экрана программы Tester приведен на рис. 2.



Рис. 2. Пример задания с вербализуемыми объектами при повороте на 45°

По завершении теста программа выводила отчет в форме таблицы с указанием времени и правильности ответа для каждого задания.

Участникам было предъявлено 12 комплектов изображений: 4 вербализуемых, 4 трудновербализуемых и 4 визуальных ритма. Углы поворота для каждого изображения были следующие: 30, 45, 90, 180°.

Для устранения эффекта последовательности предъявления заданий во внутригрупповом экспериментальном плане было применено позиционное уравнивание по правилу латинского квадрата: стимулы предъявлялись с разной последовательностью изменения угла поворота (у одного вербализуемого стимула первыми предъявлялись стимулы с углом поворота в 30°, у другого – 45°, у третьего – 90°, у четвертого – 180°, аналогичным образом мы поступили со всеми группами объектов). Всего при помощи программы было получено 4 176 замеров.

Таким образом, наш план исследования представлял собой трехфакторный смешанный план $3 \times 4 \times 3$, включал независимые переменные (межгрупповой фактор – возрастная группа, внутригрупповые факторы угла поворота и тип стимула) и две зависимые – время ответа для исследования различий во времени отклика и процент ошибок для исследования правильности ответов.

Статистические методы обработки данных

Для исключения влияния семантических и графических особенностей конкретного графического изображения в анализе как времени, так и ошибочности ответов использовалось среднее арифметическое значений времени верных ответов по каждому типу фигуры для каждого угла поворота.

Для анализа ошибок посчитывался процент ошибочных ответов для каждого значения сочетания факторов типа стимула и угла поворота фигуры.

Процент ошибок

$$\text{ср}(i, j) = \text{Ошибка}(i, j) / 4 \times 100,$$

где i – угол поворота ($i = 1$ для 30° , 2 – для 45° , 3 – для 90° , 4 – для 180°); j – тип стимула ($j = 1$ – единичная вербализуемая фигура, 2 – единичная трудновербализуемая фигура, 3 – визуальный ритм); $\text{Ошибка}(i, j)$ – количество ошибок, совершенных конкретным респондентом в задачах вращения j -й фигуры на i -й угол поворота. Диапазон значений переменной – от 0 до 4. Например, если значение переменной $\text{Ошибка}(1, 2) = 1$, то это означает, что данным респондентом была допущена 1 ошибка в пробах с трудновербализуемыми фигурами, вращающимися на угол в 30° .

Поскольку в выборке были случаи отсутствия у конкретных участников верного ответа для изображений определенного типа при конкретных углах поворота, то для анализа времени ответов выборка сократилась до 81 участника, а для анализа ошибок мы использовали данные всех респондентов. Поэтому количество респондентов в описании выборки имеет 2 значения: для анализа времени и для анализа правильности ответов.

Для исследования внутри- и межгрупповых различий использовались непараметрические критерии для данных с распределениями, отличающимися от нормальных, и параметрические – для нормальных распределений, определявшихся по критерию Колмогорова–Смирнова. Где было возможно, по критерию Левеня и Моучли для исследования влияния основного фактора и сочетания факторов применялся многофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями с множественными сравнениями по критерию Бонферрони. Межгрупповые сравнения переменных с нормальными распределениями были проведены попарно по t -критерию для независимых выборок; если же хотя бы одно из распределений отличалось от нормального попарно – по U -критерию Манна–Уитни; для всех возрастных групп по критерию Крускалла–Уоллеса. Для внутригрупповых сравнений использовались t -критерий для зависимых выборок для нормальных распределений и W -критерий Вилкоксона и χ^2 -критерий Фридмана для распределений, отличающихся от нормальных. Вся статистическая обработка проводилась в программе SPSS 16.

Результаты исследования

Статистические данные переменных содержатся в табл. 2.

Таблица 2

Описательные статистики переменных времени верных ответов и процента ошибочных ответов в трех возрастных группах при различных углах вращения

| Группа | Показатель | Вербализуемые фигуры | | | | Трудновербализуемые фигуры | | | | Визуальные ритмы | | | |
|---|------------|----------------------|------|------|------|----------------------------|------|------|------|------------------|------|------|------|
| | | 30° | 45° | 90° | 180° | 30° | 45° | 90° | 180° | 30° | 45° | 90° | 180° |
| <i>Среднее время правильного ответа</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Среднее | 4,30 | 3,7 | 4,71 | 6,20 | 4,11 | 3,65 | 4,76 | 6,21 | 4,02 | 3,25 | 4,36 | 6,54 |
| | σ | 1,58 | 1,34 | 1,76 | 2,43 | 1,53 | 1,21 | 1,78 | 2,71 | 1,09 | 0,93 | 1,73 | 3,71 |

Окончание табл. 2

| Группа | Показатель | Вербализуемые фигуры | | | | Трудновербализуемые фигуры | | | | Визуальные ритмы | | | |
|--|------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|------------------|------|-------|-------|
| | | 30° | 45° | 90° | 180° | 30° | 45° | 90° | 180° | 30° | 45° | 90° | 180° |
| 2 | Среднее | 3,82 | 4,06 | 4,14 | 5,5 | 3,91 | 3,67 | 4,227 | 6,08 | 3,87 | 3,35 | 3,76 | 7,58 |
| | σ | 1,63 | 1,87 | 1,8 | 2,42 | 1,87 | 1,95 | 1,53 | 2,4 | 1,33 | 1,35 | 1,71 | 3,24 |
| 3 | Среднее | 3,43 | 3,31 | 3,79 | 5,92 | 3,16 | 3,08 | 3,58 | 6,49 | 3,58 | 3,19 | 3,89 | 6,90 |
| | σ | 1,33 | 1,33 | 1,46 | 2,13 | 1,23 | 1,14 | 1,45 | 2,73 | 1,35 | 1,32 | 1,25 | 2,74 |
| <i>Процент ошибочных ответов</i> | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Среднее | 15,91 | 16,67 | 14,39 | 37,88 | 18,94 | 21,21 | 20,46 | 35,61 | 15,91 | 19,7 | 15,91 | 42,42 |
| 2 | Среднее | 3,13 | 1,04 | 10,42 | 22,92 | 5,21 | 6,25 | 4,17 | 21,88 | 5,21 | 2,08 | 7,29 | 18,75 |
| 3 | Среднее | 4,31 | 3,43 | 4,31 | 12,07 | 0 | 1,72 | 1,72 | 14,66 | 1,72 | 0,86 | 5,17 | 18,97 |
| <i>Примечание: Группа 1 – дошкольники, 2 – младшие школьники, 3 – взрослые</i> | | | | | | | | | | | | | |

Исследование влияния угла вращения и типа стимула на время решения задачи мысленного вращения

По критерию Левеня дисперсионный анализ с повторными измерениями был применим, в соответствии с проверкой на сферичность по критерию Моучли при анализе использовалась поправка Greenhouse–Geisser. Полученные данные собраны в табл. 3.

Таблица 3

Данные внутригрупповых сравнений по многофакторному дисперсионному анализу с повторными измерениями

| Факторы | F | p | Partial Eta Squared |
|---|--------|---------|---------------------|
| Тип стимула | 0,58 | 0,551 | 0,008 |
| Угол вращения | 145,22 | < 0,001 | 0,659 |
| Сочетание факторов типа стимула и угла вращения | 5,86 | < 0,001 | 0,072 |

Выявлено, что изолированное влияние факторов принадлежности к возрастной группе и его сочетаний с другими факторами незначимо. Следовательно, респонденты разного возраста распознают одинаковые стимулы приблизительно с одинаковой скоростью. Первые результаты исследования в группе дошкольников были приведены в нашей прошлой статье (Галева, Гончаров, 2023).

Обнаружено высокое и значимое влияние фактора угла вращения ($F = 145,221$, $p < 0,001$). Эти данные обладают высокой надежностью (Partial Eta Squared = 0,7). В работе выявлено, что увеличение времени ответа с увеличением угла вращения наблюдается только в интервале с 45° (рис. 3). Время решения задачи при меньшем угле в 30° больше, чем при угле вращения в 45° для всех типов стимулов во всех возрастных группах, за исключением только вращения вербализуемых стимулов в группе младших школьников.

Таким образом, имеющиеся в науке закономерности об увеличении времени решения задачи с увеличением угла вращения (Shepard, Mentzler, 1971), установленные для трехмерных изображений, подтверждены для плоскостных изображений лишь отчасти, в диапазоне 45–180°.

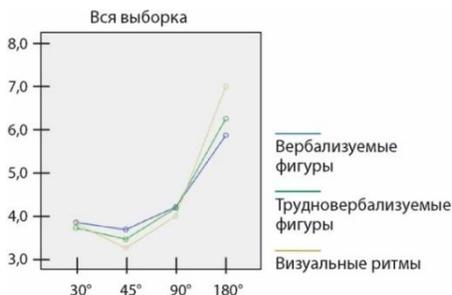


Рис. 3. Графики изменения времени решения задачи мысленного вращения в зависимости от угла поворота стимула

Хотя влияние изолированного фактора типа стимула незначимо, выявлено значимое влияние сочетаний факторов типа стимула и угла вращения ($F = 5,861$, $p < 0,001$, $\text{Partial Eta Squared} = 0,07$).

Взаимодействие факторов угла поворота и типа стимулов заметно в разных траекториях зависимости времени от угла поворота фигуры для разных типов стимулов: для визуальных ритмов динамика более выражена.

При угле в 180° визуальные ритмы распознаются медленнее единичных фигур. При углах в 45 и 90° , наоборот, единичные фигуры распознаются медленнее визуальных ритмов. Поскольку влияние фактора возраста незначимо, попарное сравнение по t -критерию для зависимых выборок было проведено в целом по всей выборке и показало значимые различия между визуальными ритмами и единичными фигурами только при угле поворота в 180° ($t = -2,83$, $p = 0,006$ при сравнении с вербализуемыми фигурами, $t = -2,076$, $p = 0,041$ при сравнении с трудновербализуемыми фигурами), различия между единичными фигурами незначимы.

Следовательно, единичные стимулы вне зависимости от наличия в них семантической составляющей распознаются в задаче мысленного вращения без значимых различий во времени решения задачи на всем диапазоне углов вращения, *наличие же визуального ритма может значимо замедлить решение при угле поворота в 180° .*

Исследование процента ошибочных ответов

Сравнение процентов ошибочных ответов для стимулов разного типа для всех углов поворота не выявило значимых различий ни в одной группе. Следовательно, *тип стимула не оказывает значимого влияния на ошибочность ответа* (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение различий в уровне ошибочности ответов по типу стимулов по критерию Фридмана χ^2

| Возрастные группы | 30° | 45° | 90° | 180° |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0,39 ^p | 1,76 ^p | 1,05 ^p | 1,42 ^p |
| 2 | 0,2 ^p | 2,33 ^p | 2,05 ^p | 1,11 ^p |
| 3 | 4,0 ^p | 1,63 ^p | 2,89 ^p | 2,89 ^p |

Примечание. ^p $p > 0,1$

Влияние возраста респондента на решение задач мысленного вращения

Сравнения ошибочности ответов между возрастными группами по критерию Крускала–Уоллеса показали значимые различия ($p < 0,05$) для всех типов стимулов и углов поворота за исключением одного: различия в распознавании вербализуемых стимулов при угле поворота в 90° между возрастными группами находятся в зоне статистической тенденции ($p = 0,078$), табл. 5.

Таблица 5

Сравнения уровня ошибочности ответов между тремя возрастными группами по критерию Круска–Уоллеса χ^2

| Типы стимулов | Критерий | | Угол вращения | | | |
|---------------------|-----------------------------|---|---------------|----------|------------------|----------|
| | | | 30° | 45° | 90° | 180° |
| Вербализуемые | χ^2 | | 12,87** | 19,3*** | 5,1 ^C | 18,13*** |
| | Таблица рангов ^Г | 1 | 52,94 | 54,47 | 48,88 | 56,47 |
| | | 2 | 37,12 | 35,15 | 43,58 | 40,35 |
| | | 3 | 38,03 | 37,93 | 37,31 | 31,34 |
| Трудновербализуемые | χ^2 | | 20,96*** | 25,08*** | 20,36*** | 11,46** |
| | Таблица рангов | 1 | 54,50 | 57,21 | 55,41 | 54,17 |
| | | 2 | 40,46 | 37,67 | 38,25 | 39,40 |
| | | 3 | 33,50 | 32,72 | 34,29 | 34,76 |
| Визуальные ритмы | χ^2 | | 15,65*** | 24,53*** | 6,06* | 13,22** |
| | Таблица рангов | 1 | 53,56 | 55,92 | 50,24 | 55,29 |
| | | 2 | 39,62 | 36,83 | 40,54 | 35,92 |
| | | 3 | 35,26 | 34,88 | 38,28 | 36,36 |

Примечание. * $0,05 \leq p < 0,01$; ** $0,01 \leq p \leq 0,001$; *** $p < 0,001$; ^C $0,05 < p \leq 0,1$; ^Г группы: 1 – дошкольники, 2 – младшие школьники, 3 – взрослые

О снижении уровня ошибочности ответов с возрастом свидетельствует снижение рангов при переходе из одной возрастной группы в другую. Исключения составили задачи вращения вербализуемых стимулов на угол в 30° , 45° , визуальных ритмов на угол в 180° : взрослые допускают больше ошибок, нежели младшие школьники. Но различия любого знака между группами школьников и взрослых не достигают уровня значимости при попарных сравнениях по U-критерию Манна–Уитни за исключением только задачи вращения трудновербализуемых стимулов на угол в 30° , где школьники допускают значимо больше ошибок, нежели взрослые ($p = 0,024$).

Таким образом, в подавляющем большинстве исследованных случаев младшие школьники и взрослые решают задачи вращения любых фигур со схожим уровнем ошибок при любых углах поворота.

Попарные сравнения групп дошкольников и младших школьников, напротив, показывают значимые различия в подавляющем большинстве случаев (табл. 6).

Следовательно, выявлено, что к окончанию дошкольного возраста в основном формируется функция различения зеркальных изображений, позволяющая школьникам решать задачи так же успешно, как взрослые. При-

чем тип изображений не оказывает существенного влияния на количество ошибок при ответах.

Таблица 6

Различия в проценте ошибочных ответов между дошкольниками и младшими школьниками по U-критерию Манна–Уитни

| Типы стимулов | 30° | 45° | 90° | 180° |
|---------------------|---------|----------|--------------------|---------|
| Вербализуемые | 249,0** | 217,5*** | 349,0 | 255,5* |
| Трудновербализуемые | 265,0* | 220,0** | 236,0** | 267,5* |
| Визуальные ритмы | 268,0* | 219,0** | 307,0 ^C | 219,0** |

Примечание. * $0,05 \leq p < 0,01$; ** $0,01 \leq p \leq 0,001$; *** $p < 0,001$; ^C $0,05 < p \leq 0,1$

Для уточнения этого факта вся выборка младших школьников была разделена на 2 подгруппы: до 8 лет и 10 месяцев (9 детей) и старше 9 лет и 10 месяцев (15 детей). Дополнительно была проведена проверка на наличие различий значений в проценте ошибочных ответов между этими двумя подгруппами. Значимых различий не выявлено ни для одного типа стимулов при любых углах вращения. На уровне тенденции выявлено, что процент ошибок у детей 1-й подгруппы выше, чем у детей 2-й подгруппы для визуальных ритмов, развернутых под углом в 30° ($U = 49,0$; $p = 0,089$) и 180° ($U = 39,5$; $p = 0,096$).

Обсуждение результатов

1. В работе подтверждено значимое влияние угла поворота любого стимула на время решения задачи мысленного вращения для респондентов любого возраста ($F = 145,221$, $p < 0,001$). Установленный факт подтверждает исследования Р. Шепарда и Ж. Менцлер (Shepard, Mentzler 1971, 1988). Однако в работе также установлено, что время решения задачи мысленного вращения плоских двумерных стимулов увеличивается в зависимости от угла поворота фигуры в интервале не от 0 до 180°, как было показано в работах Р. Шепарда и Ж. Менцлер, использовавших трехмерные стимулы, а от 45 до 180°. Тенденция к увеличению времени решения задачи при меньшем угле вращения выявлена для всех типов стимулов и, следовательно, не зависит от факторов вербализуемости единиц, наличия серии единиц в стимуле. В настоящей работе было применено позиционное уравнивание сочетаний фактора угла поворота и типа стимула по правилу латинского квадрата, в каждой группе стимулов присутствовало 4 фигуры, рассмотрение средних величин позволяло свести к минимуму влияние графических особенностей и семантических значений конкретных единиц. Все это позволило устранить влияние факторов особенностей стимула и порядка предъявления угла вращения. Тем не менее во всех группах стимулов было выявлено увеличение времени решения задачи при угле вращения в 30° в сравнении с 45°, не достигающее, однако, уровня значимости. Факт нелинейной траектории указывает на наличие иных неучитываемых в исследовании факторов, влияющих на время решения задачи. Отметим, что

в исследованиях с применением фМРТ установлено, что при повышении угла поворота увеличивается время обработки в областях мозга, задействуемых при мысленном преобразовании изображения, не относящегося к таким категоризируемым объектам, как цифры и буквы (Weiss et al., 2009). Остается неясным, почему в интервале 30–45° при увеличении угла вращения время обработки снижается как для вербализуемых стимулов, так и для других, которые не подвержены категоризации.

2. В настоящем исследовании также установлено влияние сочетаний фактора типа стимула и угла поворота на время решения задачи ($F = 5,861$, $p < 0,001$). Визуальные ритмы и единичные фигуры имеют разные траектории зависимости времени решения задачи от угла поворота стимула. Установлено, что наличие семантической составляющей в единичном стимуле не оказывает значимого влияния на скорость его перцептивной обработки, поскольку значимых отличий во времени решения задачи между единичными стимулами не выявлено. А вот добавление серии фигур в стимуле, объединяемых в визуальный ритм, может значимо замедлить решение при угле поворота в 180° в сравнении с любыми единичными стимулами ($t = -2,83$, $p = 0,006$ при сравнении с вербализуемыми фигурами, $t = -2,076$, $p = 0,041$ при сравнении с трудновербализуемыми фигурами). О том, что при добавлении визуальных ритмов к геометрическим формам они воспринимаются как визуально более сложные объекты, было упомянуто в работе (Winter, Dodou, Eisma, 2023). В карте стимулов, применявшихся в этом исследовании пустые геометрические фигуры (например, квадрат) имеют более низкие оценки «воспринимаемой визуальной сложности» по шкале от 1 до 96 чем те же фигуры, содержащие полосатые паттерны (Winter et al., 2023). По-видимому, значимо повлиять на решение задачи мысленного вращения более высокая визуальная сложность стимула, обусловленная наличием визуального ритма, может только при большом угле вращения. Эти данные будут полезны при выборе стимулов при разработке диагностических методик и средств визуальной коммуникации.

3. В работе выявлено, что в младшем школьном возрасте функция мысленного вращения любых фигур при любых углах поворота является сформированной, поскольку ответы младших школьников не имеют значимых различий с ответами взрослых по проценту ошибочности. В науке установлен факт формирования координатных пространственных представлений, отвечающих за дифференциацию зеркальных стимулов, с 7 до 11–14 лет (Ченцов и др., 1980; Гончаров, 2007). Эти данные нуждаются в проверке на расширенной выборке современных детей, поскольку в нашем исследовании не выявлено значимых различий в ошибочности ответов между детьми от 7 лет, 8 месяцев до 9 лет и детьми старше 9 лет. Возможно, что благодаря существенным изменениям цифровой среды в последние 15 лет дети учатся ориентированию в Эвклидовом пространстве раньше, чем знакомятся с ним на уроках математики в школе.

4. Логично было бы ожидать и увеличения скорости решения задачи в этот возрастной период. Однако обнаружено, что влияние фактора возраста и сочетаний этого фактора с другими незначимо.

Подытоживая сказанное, мы предполагаем, что при решении задачи мысленного вращения у детей действуют по меньшей мере два разнонаправленных фактора: наличие в стимуле визуального ритма и величина угла вращения.

Следует отметить, что в настоящей работе не исследовались объемные стимулы, а также их вращение в глубину. Наши данные дополняют выводы исследований Y. Cheng и соавт. (2020), A. Gogos и соавт. (2010), установивших факт наличия различий во времени реакции внутри группы вербализуемых стимулов.

Выводы

В работе установлено, что время решения задачи мысленного вращения увеличивается в зависимости от угла поворота плоской двумерной фигуры без признаков глубины в промежутках не от 0 до 180°, как это было установлено в работах Р. Шепарда и Ж. Менцлер (Shepard, Mentzler 1971, 1988), а от 45 до 180°. Проявленность тенденции к изменению времени реакции зависит от типа предъявляемого стимула.

Среди особенностей перцептивной обработки визуальных ритмов в задаче мысленного вращения можно отметить значимое замедление решения при угле вращения в 180° в сравнении с единичными стимулами.

Восприятие визуальных ритмов мало изучено в психологии, и наше исследование пополняет базу данных о закономерностях в восприятии таких визуальных явлений.

Нами предпринята попытка обозначить границы применения стимулов в тестировании респондентов разных возрастов. Поскольку установлено, что наличие семантической составляющей в единичном стимуле не оказывает значимого влияния на скорость его перцептивной обработки в задаче мысленного вращения в сравнении с абстрактным стимулом, такие стимулы равнозначны в задачах, ставящих цель определить время реакции при вращении на определенный угол. Добавление в стимуле серии фигур, объединенных в регулярный визуальный ритм, может значимо замедлять его перцептивную обработку при угле вращения в 180°.

В нашей работе установлены различия в паттернах зависимости скорости решения задачи мысленного вращения от угла поворота стимулов разного типа, поэтому в задачах, ставящих цель сравнения скорости реакции в некотором угловом диапазоне, эти различия могут давать существенный эффект, что необходимо учитывать при подборе стимульного материала.

Нами также установлено, что возрастная смена пространственных представлений влияет на снижение ошибочности ответов, а не на изменение времени реакции в задачах мысленного вращения, поскольку значимого

влияния фактора возраста на скорость решения задачи не выявлено. Результаты нашего исследования подтверждают гипотезу Ж. Пиаже о последовательной смене моделей пространственных представлений в онтогенезе, но нами установлено, что уже к началу школьного обучения дети обладают средствами для верного решения задач дифференциации зеркальных изображений, когда координатные пространственные представления только формируются.

Литература

- Вюрпилло, Э. (1978). Восприятие пространства. В сб.: П. Фресс, Ж. Пиаже (сост.). *Экспериментальная психология: пер. с фр., вып. 6* (с. 136–230). М.: Прогресс.
- Галеева, Я. А., Гончаров, О. А. (2023). Особенности мысленного вращения фигур на примере визуальных ритмов в дошкольном возрасте. В сб.: *Психология третьего тысячелетия: VIII Междунар. науч.-практ. Конф. «Актуальные вопросы современной психологии»: сб. материалов* (с. 37–42). Дубна: Гос. ун-т «Дубна».
- Галеева, Я. А., Гончаров, О. А. (2025). Роль восприятия визуального ритма в решении задач прогрессивных матриц Равена. *Актуальные проблемы психологического знания*, 3(72), 35–53.
- Гончаров, О. А. (2007). *Восприятие пространства и перспективные построения*. СПб.: СПбГУ.
- Ахутина Т.В. (ред.) (2016). *Нейропсихологическое обследование детей 6–9 лет*. М.: В. Секачев.
- Семаго, Н. Я., Семаго М. М. (2016). *Теория и практика углубленной психологической диагностики. От раннего до подросткового возраста*. М.: Аркти.
- Солсо, Р. Л. (2012). *Когнитивная психология*. СПб.: Питер.
- Ченцов, Н. Ю., Симерницкая, Э. Г., Обухова, Л. Ф. (1980). Нейропсихологический анализ нарушений пространственных представлений у детей и взрослых. *Вестник Московского университета*, 14(3), 63–71.
- Шиффман Х. Р. (2003). *Ощущение и восприятие*. СПб.: Питер.

Ссылки на зарубежные источники см. в разделе *References* после англоязычного блока.

Поступила в редакцию 28.04.2025 г.; повторно 30.04.2025 г.;
принята 29.08.2025 г.

Галеева Янна Александровна – аспирант кафедры психологии государственного университета «Дубна».

E-mail: yanna_mail@mail.ru

Гончаров Олег Анатольевич – профессор кафедры психологии государственного университета «Дубна»; профессор кафедры общей психологии института общественных наук РАНХиГС при Президенте РФ, доктор психологических наук.

E-mail: gonchar1000@gmail.com

For citation: Galeeva, Y. A., Goncharov, O. A. (2025). Features of Mental Rotation of Two-Dimensional Objects of Different Types in the Frontal Plane. *Sibirskiy Psikhologicheskii Zhurnal – Siberian journal of psychology*, 98, 27–46. In Russian. English Summary. doi: 10.17223/17267080/98/2

Features of Mental Rotation of Two-Dimensional Objects of Different Types in the Frontal Plane

Y.A. Galeeva¹, O.A. Goncharov^{1,2}

¹ *Dubna State University, 19, Universitetskaya Str., Dubna, 141980, Russian Federation*

² *RANEPA, 82, Vernadskogo Ave., Moscow, 119571, Russian Federation*

Abstract

This research is a study of the mental rotation of 3 types of two-dimensional stimuli: verbalized, difficult-to-visualize single figures and visual rhythms, in order to identify significant factors affecting the correctness and speed of processing visual information of each type of stimuli. All stimuli were presented with 4 angles of rotation in the frontal plane: 30, 45, 90, 180°. Three age groups participated in the research: children from 5 to 8 (who are not in school), primary schoolchildren from 7 to 12 and adults 18 plus, with a total of 87 participants. The paper establishes a nonlinear dynamics of the time change for solving the problem of mental rotation with an increase in the angle of rotation of the figures: the shortest time was observed at an angle of 45 degrees, then it increased with an increase in the angle of rotation, and with an angle of rotation of 30 degrees, the reaction time was more than at 45 degrees. The interaction of factors such as the stimulus and the angle of rotation was also found to have a significant effect on the time needed to solve the problem: for different types of stimuli, the trajectory of the decision time depending on the angle of rotation has different curvature. It was revealed that the presence of a visual rhythm in the stimulus can significantly increase the response time at a rotation angle of 180 degrees. Since significant differences in the number of errors between preschoolers and younger schoolchildren was identified, the fact of age-related development of the mental rotation function was confirmed. In primary school children this function sufficiently develops. The data obtained will be useful in the development of visual communication tools and diagnostic techniques.

Keywords: visual perception; series of figures; mental rotation; two-dimensional objects; visual rhythms; spatial abilities; age development; speed of perception; perception errors

Acknowledgements: We would like to thank the administration of Gymnasium No. 16 and the Children's Center in Lyubertsy "Raduga Zhyzni", Moscow Region, the Century private school in Moscow "Shkola XXI vek", and the Sunday school at St. George the Victorious Church in Staroye Luchniki, Moscow, for their assistance in conducting the study.

References

- Akhutina, T. V. (Ed.). (2016). *Neyropsikhologicheskoe obsledovanie detey 6–9 let* [Neuropsychological Examination of Children Aged 6–9 Years]. Moscow: V. Sekachev.
- Cheng, Y., Hegarty, M., & Chrastil, E. R. (2020). Telling right from right: the influence of handedness in the mental rotation of hands. *Cognitive Research: Principals and Implications*, 5(25). doi: 10.1186/s41235-020-00230-9
- Chentsov, N. Yu., Simernitskaya, E. G., & Obukhova, L. F. (1980). Neyropsikhologicheskii analiz narusheniy prostranstvennykh predstavleniy u detey i vzroslykh [Neuropsychological Analysis of Disorders of Spatial Representations in Children and Adults]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*, 14(3), 63–71.
- Galeeva, Ya. A., & Goncharov, O. A. (2023) Osobennosti myslennogo vrashcheniya figur na primere vizual'nykh ritmov v doshkol'nom vozraste [Mental Rotation of Figures Using the Example of Visual Rhythms in Preschool Age]. In *Psikhologiya tret'ego tysyacheletiya* [Psychology of the Third Millennium] (pp. 37–42). Dubna: Dubna State University.

- Galeeva, Ya. A., & Goncharov, O. A. (2025). Rol' vospriyatiya vizual'nogo ritma v reshenii zadach progressivnykh matrits Ravena [The Role of Visual Rhythm Perception in Solving Raven's Progressive Matrices Tasks]. *Aktual'nye problemy psikhologicheskogo znaniya*, 3(72), 35–53.
- Gogos, A., Gavrilesco, M., Davison, S., Searle, K., & Adams, J. (2010). Greater superior than inferior parietal lobule activation with increasing rotation angle during mental rotation: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 48(2), 529–535. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.10.013
- Goncharov, O.A. (2007). *Vospriyatie prostranstva i perspektivnye postroeniya* [Perception of Space and Perspective Constructions]. St. Petersburg: SPbSU.
- Harris, I. M., Egan, G. F., Sonkkila, C., Tochon-Danguy, H. J., & Paxinos, G. (2000). Selective right parietal lobe activation during mental rotation. A parametric PET study. *Brain* 123(1), 65–73. doi: 10.1093/brain/123.1.65
- Helie, S. (2017). The effect of integration masking on visual processing in perceptual categorization. *Brain and Cognition*, 16, 63–70. doi: 10.1016/j.bandc.2017.06.001
- Hertzog, C., & Rypma, B. (1991). Age differences in components of mental-rotation task performance. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29(2), 209–212. doi: 10.3758/BF03335237
- Huttenlocher, J., Newcombe, N., & Vasilyeva, M. (1999). Spatial scaling in young children. *Psychological Science*, 10(5), 393–398.
- Ilić, M., & Đukić, A. (2017) Typology of spatial ability tests and its implementation in architectural study exams. *Facta Universitatis Series: Architecture and Civil Engineering*, 15(1), 1–14. doi: 10.2298/FUACE16111300II
- Jansen, P., & Kellner, J. (2015). The role of rotational hand movements and general motor ability in children's mental rotation performance. *Frontiers in Psychology*, 6, 984. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00984
- Johnson, A. M. (1990). Speed of mental rotation as a function of problem-solving strategies. *Perceptual and Motor Skills*, 71(3), 803–806. doi:10.2466/pms.1990.71.3.803
- Jones, B., & Anzu, T. (1982). Effects of sex, handedness, stimulus and visual field on "mental rotation." *Cortex*, 18(4), 501–514. doi:10.1016/S0010-9452(82)80049-X
- Katsioloudis, P. A., Jovanovic, V., & Jones, M. (2014). A comparative analysis of spatial visualization ability and drafting models for industrial and technology education students. *Journal of Technology Education*, 26(1). doi: 10.21061/jte.v26i1.a.6
- Khooshabeh, P., & Hegarty, M. (2008). *Differential effects of color on mental rotation as a function of spatial ability* [Paper presentation]. International Spatial Cognition Conference, Freiburg, Germany.
- Lauer, T., Willenbockel, V., & Maffongelli, L. (2020). The influence of scene and object orientation on the scene consistency effect. *Behavioural Brain Research*, 394, 112812. doi: 10.1016/j.bbr.2020.112812
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 621–640. doi: 10.1037.0096-3445.130.4.621
- Moore, D. S., Moore, D. M., & Johnson, S. P. (2024). Minding the gap: A sex difference in young infants' mental rotation through thirty degrees of arc. *Frontiers in Psychology*, 15, 1415651. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1415651
- Moreau, D. (2012). Enhancing spatial ability through sport practice. *Journal of Individual Differences*, 33(2), 83–88. doi: 10.1027/1614-0001/A000075
- Nagy-Kondor, R., & Sörös, C. (2012). Engineering students' spatial abilities in Budapest and Debrecen. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 40, 187–201.
- Nissan, T., Shapira, O., & Liberman, N. (2015). Effects of power on mental rotation and emotion recognition in women. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 41(10), 1425–1437. doi: 10.1177/0146167215598748

- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press.
- Pietsch, S., & Jansen, P. (2012). Different mental rotation performance in students of music, sport and education. *Learning and Individual Differences*, 22(1), 159–163.
- Plumert, J. M., & Hund, A. M. (2001). The development of memory for location: What role do spatial prototypes play? *Child Development*, 72(2), 370–384.
- Quinn, P. C., & Liben, L. S. (2008). A sex difference in mental rotation in young infants. *Psychological Science*, 19(11), 1067–1070. doi: 10.1111/j.1467-9280.2008.02201.x
- Rüsseler, J., Scholz, J., Jordan, K., & Quaiser-Pohl, C. (2005). Mental rotation of letters, pictures, and three-dimensional objects in German dyslexic children. *Child Neuropsychology*, 11(6), 497–512. doi: 10.1080/09297040490920168
- Schmidt, M., Egger, F., Kieliger, M., Rubeli, B., & Schüler, J. (2016). Gymnasts and orienteers display better mental rotation performance than nonathletes. *Journal of Individual Differences*, 37(1), 1–7. doi: 10.1027/16140001/a000180
- Semago, N. Ya., & Semago, M. M. (2016). *Teoriya i praktika uglublennoy psikhologicheskoy diagnostiki. Ot rannego do podrostkovogo vozrasta* [Theory and Practice of In-Depth Psychological Diagnostics. From Early to Adolescent Age]. Moscow: Arktika.
- Semrud-Clikeman, M., Fine, J. G., Bledsoe, J., & Zhu, D. C. (2012). Gender differences in brain activation on a mental rotation task. *International Journal of Neuroscience*, 122(10), 590–597. doi: 10.3109/00207454.2012.693999
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701–703.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(1), 3–11.
- Shiffman, Kh. R. (2003). *Oshchushchenie i vospriyatie* [Sensation and Perception]. St. Petersburg: Piter.
- Solso, R. L. (2012) *Kognitivnaya psikhologiya* [Cognitive Psychology] (N. Altman et al. Trans.). St. Petersburg: Piter.
- Tittle, J. S., Todd, J. T., Perotti, V. J., & Norman, J. F. (1995). Systematic distortion of perceived three-dimensional structure from motion and binocular stereopsis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(3), 663–678.
- Todd, J. T., Chen, L., & Norman, J. F. (1998). On the relative salience of Euclidean, affine, and topological structure for 3-D form discrimination. *Perception*, 27(2), 273–282.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604. doi: 10.2466/pms.1978.47.2.599
- Wei, L., Li, X., Huang, L., Liu, Y., Hu, L., Shen, W., & Ding, Q. (2023). An fMRI study of visual geometric shapes processing. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1087488. doi: 10.3389/fnins.2023.1087488
- Weiss, M. M., Wolbers, T., Peller, M., Witt, K., Marshall, L., Büchel, C., & Siebner, H. R. (2009). Rotated alphanumeric characters do not automatically activate frontoparietal areas subserving mental rotation. *NeuroImage*, 44(3), 1063–1073. doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.09.042
- Winter, J. C. F., Dodou, D., & Eisma, Y. B. (2023). Responses to Raven matrices: Governed by visual complexity and centrality. *Perception*, 52(9), 645–661. doi: 10.1177/03010066231178149
- Wyurpillo, E. (1978). *Vospriyatie prostranstva* [Perception of Space]. In P. Fress, & J. Piaget (Eds.), *Eksperimental'naya psikhologiya* [Experimental Psychology] (Trans. from French). Vol. 6 (pp. 136–230). Moscow: Progress.

Received 28.04.2025; Revised 30.04.2025;

Accepted 29.08.2025

Yana A. Galeeva – Graduate Student of the Department of Psychology of the Dubna State University.

E-mail: yanna_mail@mail.ru

Oleg A. Goncharov – Professor of the Department of Psychology of the Dubna State University, Professor of the Department of Psychology RANEPА, D. Sc. (Psychology).

E-mail: gonchar1000@gmail.com