

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ПСИХОЛОГИИ / METHODOLOGY AND RESEARCH METHODS IN PSYCHOLOGY

Научная статья / Research Article
<https://doi.org/10.11621/npj.2024.0409>
УДК 159.953; 159.94; 159.9.0722

Запоминание детьми 9–11 лет вербальных и невербальных последовательностей при статическом и динамическом их предъявлении

А.А. Корнеев^{1, 2} ✉, Д.И. Ломакин², А.В. Курганский^{3, 4}, Р.И. Мачинская^{2, 3}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

² Институт развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва, Российская Федерация

³ Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

⁴ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Российская Федерация

✉ korneeff@gmail.com

Резюме

Актуальность. Важность исследований рабочей памяти (РП) при удержании серийной информации у детей связана как с общетеоретическими представлениями о механизмах РП, так и практическими задачами обучения. В литературе данные об удержании вербальной и невербальной серийной информации и влиянии на эти процессы способа предъявления последовательностей (статического или динамического) представлены в отдельных работах, что определяет актуальность сопоставления влияния этих факторов в рамках единого эксперимента.

Цель работы — анализ особенностей отсроченного воспроизведения детьми 9–11 лет вербальных и невербальных последовательностей, предъявляемых статически или динамически.

Выборка. Типично развивающиеся дети ($n = 19$, средний возраст $10,75 \pm 0,57$).

Методы. Дети запоминали и отсроченно воспроизводили предъявляемые зрительно последовательности букв, цифр и изображений ломаной линии. Варьировались способы предъявления (статический или динамический), а также длина последовательностей и время задержки ответа. Оценивались точность воспроизведения и время реакции.

Результаты. Анализ точности воспроизведения показал, что лучше всего запоминаются цифры, хуже всего — буквы, статическая последовательность запоминается лучше динамической, точность падает с увеличением времени задержки ответа и длины последовательности. Обнаружена зависимость точности воспроизведения от режима предъявления и времени удержания в РП при воспроизведении невербальных последовательностей, но не в случае вербальных. Время реакции уменьшается при увеличении времени задержки в случае воспроизведения невербальных последовательностей.

Выводы. Вербальные и невербальные последовательности, предъявляемые статически и динамически сохраняются в РП детей по-разному. Предположительно вербальные стимулы запоминаются как последовательность при любом способе предъявления, при этом цифровые последовательности могут сохраняться как многозначные числа, а невербальные последовательности — как единый объект при статическом предъявлении и как последовательность — при динамическом. Результаты свидетельствуют о большей изменчивости репрезентаций невербальных последовательностей по сравнению с вербальными при их удержании в РП.

Ключевые слова: рабочая память, серийная информация, вербальная память, невербальная память, отсроченное воспроизведение

Для цитирования: Корнеев, А.А., Ломакин, Д.И., Курганский, А.В., Мачинская, Р.И. (2024). Запоминание детьми 9–11 лет вербальных и невербальных последовательностей при статическом и динамическом их предъявлении. *Национальный психологический журнал*, 19(4), 132–147. <https://doi.org/10.11621/npj.2024.0409>

The Memorisation of Verbal and Nonverbal Serial Information by Children 9–11 Years Old

Aleksei A. Korneev^{1,2}✉, Dmitry I. Lomakin², Andrei V. Kurgansky^{3,4}, Regina I. Machinskaya^{2,3}

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

² Institute of Development, Health, and Adaptation of Children, Moscow, Russian Federation

³ Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

⁴ Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russian Federation

✉ korneeff@gmail.com

Abstract

Background. The mechanisms of serial information retention in working memory (WM) in children are an important and debated topic. They are related to both general theoretical ideas regarding memory and practical issues of learning organisation. Despite numerous studies of WM regarding the retention of verbal and non-verbal sequences as well as differently presented sequences (as static or dynamic objects), there are virtually no studies that consider both the factor of modality and the sequence presentation.

Objective. The aim of the study is to conduct a comparative analysis of delayed reproduction of verbal and non-verbal sequences by children aged 9–11 years.

Study Participants. Typically developing children ($n = 19$, mean age 10.75 ± 0.57).

Methods. Subjects were asked to remember and recall the sequences of letters, digits, and segments that formed a broken curve. In the experiment, we varied length, retention time, and presentation mode (static or dynamic). Accuracy and reaction time were analysed.

Results. Analysis of accuracy showed that numerical sequences were best remembered, and letter sequences were worst remembered, static information was remembered better than dynamic, accuracy decreased with time and with increasing length of a sequence. Also, the analysis revealed dependence of accuracy of broken curve reproduction on the presentation mode and retention time, but these factors showed no effect on the reproduction of verbal sequences. Reaction time significantly decreased with increasing retention time for nonverbal sequences.

Conclusion. Verbal and nonverbal sequences presented statically and dynamically are stored differently in children's WM. Apparently, verbal stimuli are remembered as a sequence in any presentation mode, while numerical sequences can be stored as multidigit numbers, and nonverbal sequences as a single object when presented statically and as a sequence when presented dynamically. During the retention of sequences in WM, the representations of non-verbal information are more mutable than the representations of verbal information.

Keywords: working memory, serial information, verbal memory, nonverbal memory, delayed reproduction

For citation: Korneev, A.A., Lomakin, D.I., Kurgansky, A.V., Machinskaya, R.I. (2024). The memorisation of verbal and nonverbal serial information by children 9–11 years old. *National Psychological Journal*, 19(4), 132–147. <https://doi.org/10.11621/npj.2024.0409>

Введение

В процессе освоения навыков и знаний человек сталкивается с необходимостью запоминать и воспроизводить более или менее сложные последовательности информационных единиц разного типа, в том числе речевые и зрительно-пространственные. В когнитивной психологии теме запоминания последовательностей посвящены многие исследования (см. например, обзор Hurlstone et al., 2014). Такого рода информация в этой традиции называется серийной (serial), и в нашей работе мы будем в дальнейшем, говоря об элементах, организованных как последовательность, использовать термин «серийная информация».

Кратковременное запоминание информации, необходимой для текущей деятельности описывается

моделями рабочей памяти (РП). Одной из наиболее распространенных является модель А. Бэддели и Дж. Хитча (Baddeley, Hitch, 1974), предполагающая кодирование и хранение информации в специфических буферах — фонологической петле (phonological loop) и зрительно-пространственном блокноте (visuospatial sketchpad). Поведенческие и нейрокогнитивные эксперименты позволяют дополнить модально-специфические блоки РП структурой управления (Baddeley et al., 2019; Camos, 2017), а также выделить процессы кодирования информации о последовательности элементов (Ginsburg et al., 2017; Jones et al., 1995; Marshuetz, 2005). При этом неочевидным оказывается вопрос о зависимости сохранения последовательности от типа запоминаемой последовательности стимулов (вербальной или зрительно-пространственной). Следуя традиции исследований РП (Deporter,

Vandierendonck, 2009), мы будем в дальнейшем обозначать тип последовательности, используя термин «модальность» (вербальная и невербальная). Ряд исследований указывают на то, что порядок может храниться отдельно от самих элементов (Attout et al., 2018; Marshuetz, 2005; Majerus, 2019), при этом возможно наличие как модально-специфических, так и универсальных способов кодирования и хранения последовательностей. С одной стороны, есть данные, указывающие на относительную универсальность механизмов сохранения информации о порядке элементов вербальных и невербальных последовательностей (Jones et al., 1995; Ginsburg et al., 2017; Hurlstone et al., 2014). В пользу этого говорят схожие паттерны ошибок, возникающих при воспроизведении информации разной модальности (Ginsburg et al., 2017; Hurlstone et al., 2014). С другой стороны, показано, что порядок элементов легче запоминается и воспроизводится при удержании вербального материала по сравнению с невербальным, что указывает на модально-специфические формы хранения порядка в РП (Gmeindl et al., 2011). Нейровизуализационные исследования показывают, что в сохранении вербального материала в большей степени участвует префронтальная кора слева, в то время как при сохранении пространственной информации — префронтальная кора справа (Wager, Smith, 2003). В недавней работе (Tian et al., 2022) методом структурного моделирования показано, что модель с модально-специфическими факторами соответствует экспериментальным данным лучше, чем модель, предполагающая один общий фактор сохранения порядка. Таким образом, вопрос об универсальности или специфичности механизмов РП при хранении серийно организованной информации, в том числе вербальной и зрительно-пространственной, остается открытым.

Другим существенным фактором, влияющим на запоминание информации является способ ее предъявления. Последовательность элементов может быть представлена одновременно — статически или динамически, когда элементы предъявляются поочередно (Logie, 1995). Модель РП Logie (Logie, 1995) включает зрительный (visual cache) блок, ответственный за запоминание признаков объекта (форма, цвет и др.), и пространственный блок (inner cache), кодирующий пространственное положение объектов. Такое разделение согласуется с данными, полученными на выборках здоровых взрослых, а также на детях младшего школьного возраста (Mammarella et al., 2008; Pickering et al., 2001). Исследования показывают, что запоминанию статически предъявляемых зрительно-пространственных стимулов соответствует активация задней теменной коры (Lehnert, Zimmer, 2008), а при запоминании стимулов в динамическом режиме активируются чувствительные к движению нейроны областей МТ/МСТ (Donato et al., 2020; Curtis, Sprague, 2021).

Стоит отметить, что несмотря на большое число работ, посвященных оценке особенностей сохранения и удержания в РП вербальных и невербальных сти-

мулов, предъявляемых статически или динамически, практически нигде оба эти фактора не рассматриваются в рамках единого исследования. Ранее мы проводили экспериментальное исследование запоминания и отсроченного воспроизведения вербальной (последовательности букв) и зрительно-пространственной (сегментированные ломаные кривые) информации, варьируя способ ее предъявления — динамический и статический на выборке взрослых здоровых испытуемых (Корнеев и др., 2022). Мы обнаружили, что невербальные стимулы воспроизводятся с большим количеством ошибок и большим латентным временем ответа, а также что при воспроизведении статически предъявляемых последовательностей точность воспроизведения вербальной и невербальной информации практически не отличается, а в динамическом режиме число ошибок увеличивается, причем заметно сильнее при воспроизведении невербальной информации.

Оценка особенностей РП в детском возрасте представляет отдельный интерес, как теоретический, так и практический. Исследование формирования функции в онтогенезе, благодаря развертке процесса во времени дает дополнительную информацию о структурно-функциональной организации РП, кроме этого, могут быть выявлены специфические особенности запоминания и воспроизведения последовательностей разной модальности у детей, что в свою очередь может быть полезно при организации учебного процесса.

Использование структурных моделей с точки зрения оценки стабильности или изменчивости компонентов РП у детей разного возраста показывают, что трехфакторная модель, соответствующие модели Бэддели (управляющий механизм, фонологическая петля и зрительно-пространственный блок) подтверждается и достаточно стабильна в возрастном диапазоне от 4 до 15 лет. С другой стороны, в работе Б. Карретти и коллег (Carretti et al., 2022) тестировались модели с разным числом вербальных, зрительных и зрительно-пространственных факторов и показано, что лучше всего экспериментальным данным, полученных на детях 3–8 лет, соответствует четырехфакторная модель с отдельными факторами запоминания вербальной и зрительной информации и двумя факторами, связанными с запоминанием статической и динамической зрительно-пространственной информации. В другой работе, посвященной исследованию структуры РП у детей 4–11 лет, авторы рассматривают несколько конкурирующих моделей, включающих в себя как модально-специфические (вербальные или зрительно-пространственные) факторы, так и неспецифические, связанные с контролем переработки информации вне зависимости от ее модальности (Alloway et al., 2006). В результате наиболее точно соответствующими данным оказались модели, в которых заложены как модально-специфические факторы, связанные с хранением вербальной и зрительно-пространственной информации, так и

неспецифические управляющие механизмы (собственно РП). При этом отмечается, что модально-специфический фактор удержания зрительно-пространственной информации у детей 4–6 лет оказывается очень тесно связан с фактором управляющего контроля, а к 7–11 годам эта связь ослабевает.

Ряд работ рассматривает возрастную динамику запоминания информации в зависимости от способа ее предъявления и/или модальности. В работе С. Пикеринга и соавторов (Pickering et al., 2001) показано, что динамические зрительные и пространственные стимулы запоминаются детьми 5–10 лет менее эффективно, а продуктивность запоминания статически предъявляемых стимулов с возрастом повышается. К. Робертс и коллеги (Roberts et al., 2018) указывают на различия траекторий развития запоминания статической вербальной (линейно повышается от 6 до 25 лет), и зрительно-пространственной информации (достигает плато к 18 годам). Рост эффективности запоминания при динамическом представлении замедляется в 12–13 лет, и снова возрастает после 20. Данные нашего исследования также показали, что дети 9–11 лет хуже воспроизводят зрительно-пространственные последовательности при динамическом предъявлении по сравнению со статическим (Антонова и др., 2015), а увеличение времени удержания статически предъявляемых невербальных стимулов снижает время реакции и увеличивает число ошибок, в то время как у взрослых снижение времени реакции не сопровождается снижением точности (Корнеев, Ломакин, 2017). При этом динамический режим почти не играет роли при запоминании взрослыми вербального материала (Корнеев и др., 2022). Однако недостаточно исследованным остается вопрос, можно ли говорить о подобных эффектах в отношении вербального материала у детей.

Цель настоящей исследования — оценить совместное влияние типа (вербального или невербального) запоминаемой информации, способа ее предъявления и времени удержания на эффективность РП у детей 9–11 лет в рамках единого эксперимента. Основываясь на данных, полученных на выборке взрослых испытуемых, основную гипотезу нашего исследования можно сформулировать так: вербальные и невербальные последовательности могут запоминаться и удерживаться в РП у детей этого возраста по-разному, при этом невербальные последовательности запоминаются в большей степени как целостный объект, а вербальные — в большей степени именно как последовательности.

Выборка

В исследовании приняли участие дети от 9,5 до 11,5 лет ($N = 19$, 8 мальчиков, 11 девочек, средний возраст $10,75 \pm 0,57$ лет) — учащиеся 4-х и 5-х классов московской общеобразовательной школы. Все испытуемые не имели диагностированных неврологических

нарушений, имели нормальное или скорректированное зрение.

Методы

Дизайн исследования

Каждому испытуемому предлагалось решить три задачи на запоминание и отсроченное (в ответ на задержанный императивный сигнал) воспроизведение последовательностей (Рисунок 1, верхний ряд). В качестве императивного сигнала использовался короткий (100 мс) тональный звуковой сигнал. Использовались два значения задержки 500 мс и 3000 мс. В первой задаче требовалось запомнить и воспроизвести пальцем на сенсорном экране последовательность прямолинейных отрезков, организованных в незамкнутую ломаную линию (далее эту задачу будем обозначать TRJ от «траектории»). Во второй и третьей задаче испытуемых просили запомнить и воспроизвести в неизменном порядке, соответственно, последовательность цифр (далее эту задачу будем обозначать DIG от digits) и букв (LET от letters). Длина последовательности варьировала от 3 до 5 элементов в задачах DIG и LET, а в задаче TRJ — от 4 до 6 элементов.

Каждая из трех задач предлагалась в статическом и динамическом режиме. В статическом режиме вся последовательность предъявлялась целиком на фиксированное время ($T = 2000$ мс). В случае DIG и LET это были строки, соответственно, цифр и букв, а в случае TRJ — ломаная линия. В DIG и LET после окончания задержки одновременно с императивным сигналом появлялся перемешанный случайным образом набор показанных символов (цифр или букв), и задача испытуемого состояла в том, чтобы коснуться пальцем изображений этих символов на сенсорном экране в том порядке, в котором они были показаны в эталонной последовательности.

В динамическом режиме в задачах DIG и LET символы предъявлялись один за другим (время экспозиции — 500 мс), а в задаче TRJ по невидимому контуру ломаной линии двигалась точка, имитирующая графические движения человека, рисующего такую линию (время движения по каждому отрезку ломаной — 500 мс).

В процессе эксперимента также велась запись электроэнцефалограммы испытуемого, однако анализ этой части эксперимента в рамках данной работы не рассматривается.

Проведение эксперимента

Эксперимент проводился в автоматическом режиме под управлением программы, написанной в среде Octave (OC Kubuntu) с использованием библиотеки функций psychtoolbox3 (www.psychtoolbox.org).

Эксперимент проводился на компьютере с сенсорным экраном (около 60 см), во время проведения эксперимента испытуемый сидел в кресле в затемненной камере и смотрел на экран, расположенный на таком расстоянии от испытуемого, чтобы ему/ей было удобно касаться пальцем экрана и рисовать на нем.

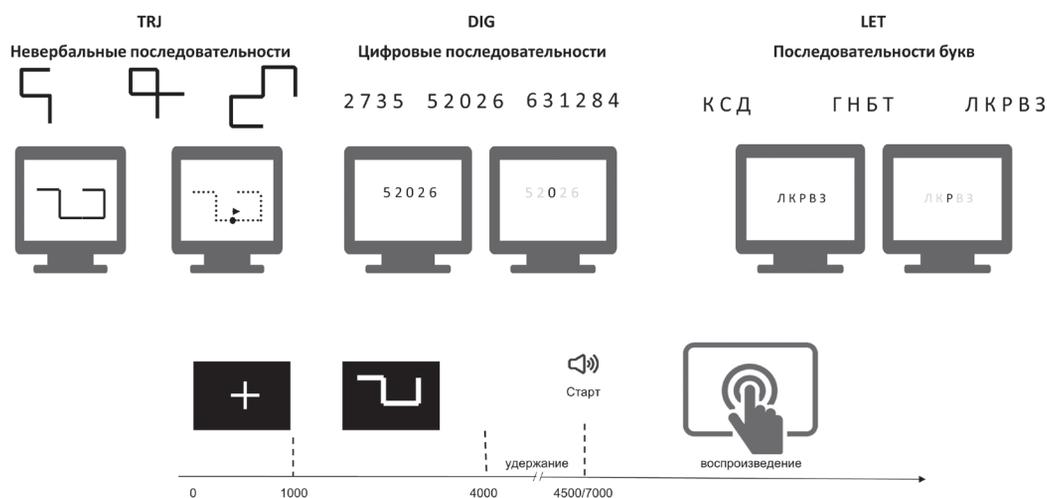


Рисунок 1
Три задачи, которые решали испытуемые и структура пробы эксперимента

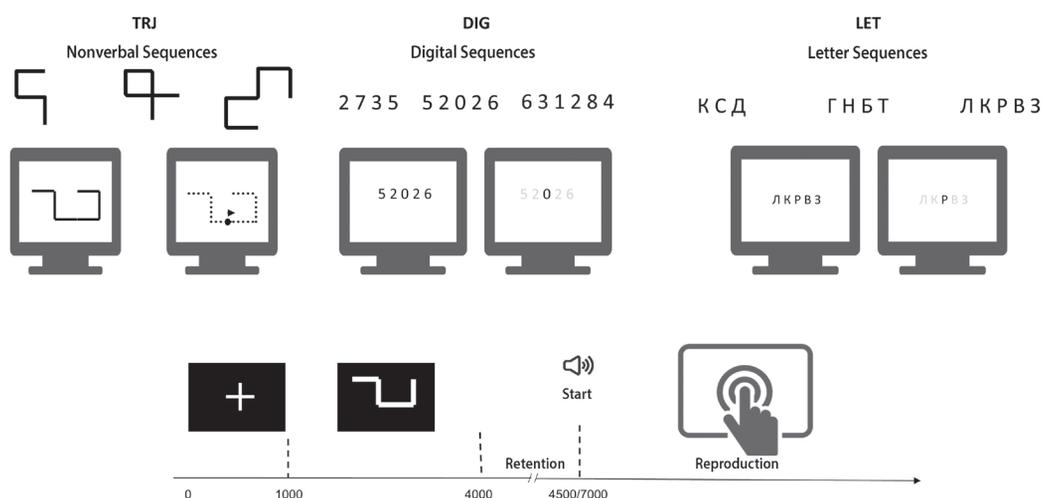


Figure 1
Three types of tasks and structure of a trial in the experiment

Анализируемые параметры. Вычислялись и анализировались два показателя: доля правильных ответов (точность) и латентное время двигательного ответа. Для вербального материала правильность ответа определялась автоматически по совпадению воспроизведенной и показанной последовательности. Правильность воспроизведения траекторий определялась визуально одним из экспериментаторов. Правильными считались последовательности, в которых число элементов и их конфигурация совпадала со стимулом. Латентное время (время реакции, далее ВР) измерялось как время, прошедшее от начала императивного сигнала до момента, когда испытуемый начинал движение.

Результаты

Была проведена серия дисперсионных анализов, в которых зависимыми переменными были доля правильных ответов (далее — точность) и время реакции (далее — ВР), а факторами — тип стимула (3 уровня — буквы, цифры и траектории, далее СТИМУЛ), режим предъявления (2 уровня — статический и динамический, далее РЕЖИМ), время задержки (2 уровня — 500 и 3000 мс, далее ЗАДЕРЖКА) и длина последовательности (3 уровня — 3, 4 или 5 элементов для букв, 4, 5 и 6 — для траекторий, далее — ДЛИНА). Результаты дисперсионного анализа приведены в Таблице 1.

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа

| Эффект | Точность ответов | Время реакции |
|-----------------------------------|--|---|
| СТИМУЛ | F(2, 36) = 7,515, p = 0,002, $\eta_p^2 = 0,295$ | F(2, 36) = 0,04, p = 0,961, $\eta_p^2 = 0,002$ |
| РЕЖИМ | F(1, 18) = 17,02, p < 0,001, $\eta_p^2 = 0,486$ | F(1, 18) = 1,186, p = 0,291, $\eta_p^2 = 0,062$ |
| ЗАДЕРЖКА | F(1, 18) = 8,796, p = 0,008, $\eta_p^2 = 0,328$ | F(1, 18) = 36,134, p < 0,001, $\eta_p^2 = 0,667$ |
| ДЛИНА | F(2, 36) = 204,204, p < 0,001, $\eta_p^2 = 0,919$ | F(2, 36) = 0,283, p = 0,755, $\eta_p^2 = 0,015$ |
| СТИМУЛ × РЕЖИМ | F(2, 36) = 8,691, p = 0,001, $\eta_p^2 = 0,326$ | F(2, 36) = 0,848, p = 0,437, $\eta_p^2 = 0,045$ |
| СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА | F(2, 36) = 5,653, p = 0,007, $\eta_p^2 = 0,239$ | F(2, 36) = 11,538, p < 0,001, $\eta_p^2 = 0,391$ |
| РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА | F(1, 18) = 0, p = 1, $\eta_p^2 = 0$ | F(1, 18) = 1,519, p = 0,234, $\eta_p^2 = 0,078$ |
| СТИМУЛ × ДЛИНА | F(4, 72) = 24,695, p < 0,001, $\eta_p^2 = 0,578$ | F(4, 72) = 4,675, p = 0,002, $\eta_p^2 = 0,206$ |
| РЕЖИМ × ДЛИНА | F(2, 36) = 1,336, p = 0,276, $\eta_p^2 = 0,069$ | F(2, 36) = 1,209, p = 0,31, $\eta_p^2 = 0,063$ |
| ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА | F(2, 36) = 0,164, p = 0,849, $\eta_p^2 = 0,009$ | F(2, 36) = 0,149, p = 0,862, $\eta_p^2 = 0,008$ |
| СТИМУЛ × РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА | F(2, 36) = 0,52, p = 0,599, $\eta_p^2 = 0,028$ | F(2, 36) = 2,337, p = 0,111, $\eta_p^2 = 0,115$ |
| СТИМУЛ × РЕЖИМ × ДЛИНА | F(4, 72) = 0,786, p = 0,538, $\eta_p^2 = 0,042$ | F(4, 72) = 0,459, p = 0,765, $\eta_p^2 = 0,025$ |
| СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА | F(4, 72) = 0,483, p = 0,748, $\eta_p^2 = 0,026$ | F(4, 72) = 2,613, p = 0,042, $\eta_p^2 = 0,127$ |
| РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА | F(2, 36) = 8,397, p = 0,001, $\eta_p^2 = 0,318$ | F(2, 36) = 0,558, p = 0,577, $\eta_p^2 = 0,03$ |
| СТИМУЛ × РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА | F(4, 72) = 1,265, p = 0,292, $\eta_p^2 = 0,066$ | F(4, 72) = 0,76, p = 0,555, $\eta_p^2 = 0,041$ |

Примечание: η_p^2 — частная эта-квадрат (величина статистического эффекта). Полужирным шрифтом выделены значимые эффекты.

Table 1
Results of ANOVA

| Effect | Accuracy | Reaction time |
|--------------------------------------|--|---|
| STIMULUS | F(2, 36) = 7.515, p = 0.002, $\eta_p^2 = 0.295$ | F(2, 36) = 0.04, p = 0.961, $\eta_p^2 = 0.002$ |
| MODE | F(1, 18) = 17.02, p < 0.001, $\eta_p^2 = 0.486$ | F(1, 18) = 1.186, p = 0.291, $\eta_p^2 = 0.062$ |
| DELAY | F(1, 18) = 8.796, p = 0.008, $\eta_p^2 = 0.328$ | F(1, 18) = 36.134, p < 0.001, $\eta_p^2 = 0.667$ |
| LENGTH | F(2, 36) = 204.204, p < 0.001, $\eta_p^2 = 0.919$ | F(2, 36) = 0.283, p = 0.755, $\eta_p^2 = 0.015$ |
| SUMILUS TYPE × MODE | F(2, 36) = 8.691, p = 0.001, $\eta_p^2 = 0.326$ | F(2, 36) = 0.848, p = 0.437, $\eta_p^2 = 0.045$ |
| SUMILUS TYPE × DELAY | F(2, 36) = 5.653, p = 0.007, $\eta_p^2 = 0.239$ | F(2, 36) = 11.538, p < 0.001, $\eta_p^2 = 0.391$ |
| MODE × DELAY | F(1, 18) = 0, p = 1, $\eta_p^2 = 0$ | F(1, 18) = 1.519, p = 0.234, $\eta_p^2 = 0.078$ |
| SUMILUS TYPE × LENGTH | F(4, 72) = 24.695, p < 0.001, $\eta_p^2 = 0.578$ | F(4, 72) = 4.675, p = 0.002, $\eta_p^2 = 0.206$ |
| MODE × LENGTH | F(2, 36) = 1.336, p = 0.276, $\eta_p^2 = 0.069$ | F(2, 36) = 1.209, p = 0.31, $\eta_p^2 = 0.063$ |
| DELAY × LENGTH | F(2, 36) = 0.164, p = 0.849, $\eta_p^2 = 0.009$ | F(2, 36) = 0.149, p = 0.862, $\eta_p^2 = 0.008$ |
| SUMILUS TYPE × MODE × DELAY | F(2, 36) = 0.52, p = 0.599, $\eta_p^2 = 0.028$ | F(2, 36) = 2.337, p = 0.111, $\eta_p^2 = 0.115$ |
| SUMILUS TYPE × MODE × LENGTH | F(4, 72) = 0.786, p = 0.538, $\eta_p^2 = 0.042$ | F(4, 72) = 0.459, p = 0.765, $\eta_p^2 = 0.025$ |
| SUMILUS TYPE × DELAY × LENGTH | F(4, 72) = 0.483, p = 0.748, $\eta_p^2 = 0.026$ | F(4, 72) = 2.613, p = 0.042, $\eta_p^2 = 0.127$ |
| MODE × DELAY × LENGTH | F(2, 36) = 8.397, p = 0.001, $\eta_p^2 = 0.318$ | F(2, 36) = 0.558, p = 0.577, $\eta_p^2 = 0.03$ |
| SUMILUS TYPE × MODE × DELAY × LENGTH | F(4, 72) = 1.265, p = 0.292, $\eta_p^2 = 0.066$ | F(4, 72) = 0.76, p = 0.555, $\eta_p^2 = 0.041$ |

Note: η_p^2 is the partial eta-squared (the magnitude of the statistical effect). Significant effects are highlighted in bold.

Как видно из Таблицы 1, в отношении доли правильных ответов все основные эффекты оказались значимыми:

1. СТИМУЛ — максимальная точность наблюдается при воспроизведении последовательностей цифр, минимальная — при воспроизведении букв (Рисунок 2А). Попарное сравнение (здесь и далее — с поправкой Хольма) показало значимые различия между точностью воспроизведения последовательностей цифр и букв ($p < 0,001$). Для букв и траекторий различия были субзначимы ($p = 0,064$), а между буквами и траекториями — незначимы ($p = 0,282$).

2. РЕЖИМ — точность ответов испытуемых ниже при использовании динамического режима. (Рисунок 2Б).

3. ЗАДЕРЖКА — точность не очень сильно, но значимо снижается при увеличении времени задержки (Рисунок 2В).

4. ДЛИНА — точность снижается при увеличении числа элементов последовательности (Рисунок 2Г). При этом различия между тремя уровнями фактора попарно значимы на уровне $p < 0,001$.

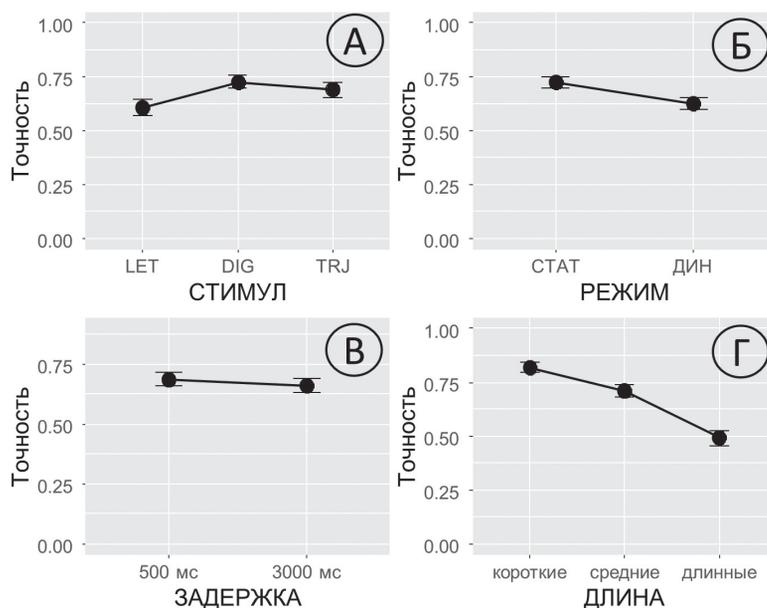


Рисунок 2

Средние значения точности ответов в зависимости от влияния факторов по отдельности. Столбики ошибок — 95% доверительный интервал среднего

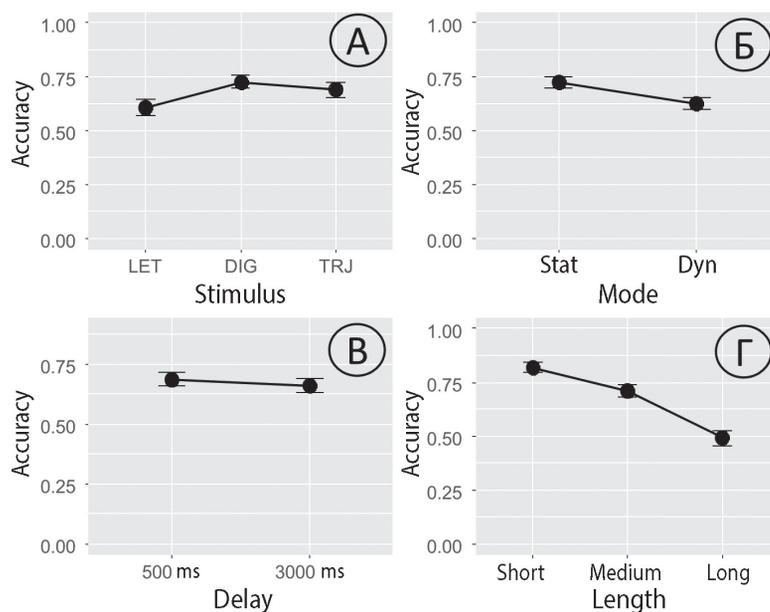


Figure 2

Mean accuracy depending on the influence of the factors. Error bars are 95% confidence interval

Также были обнаружены значимые взаимодействия:
 1. СТИМУЛ × РЕЖИМ — эффект режима незначим в случае последовательности букв и цифр ($p > 0,300$ при попарном сравнении), но значимым при воспроизведении траекторий, при этом точность выше в статическом режиме (Рисунок 3А) ($p < 0,001$).

2. СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА — эффект задержки отсутствует при воспроизведении букв и цифр ($p > 0,700$ при попарном сравнении), но значим при воспроизведении траекторий, при этом увеличение за-

держки значительно снижает точность ответа (Рисунок 3Б) ($p = 0,003$).

3. СТИМУЛ × ДЛИНА — эффект длины сильнее всего при воспроизведении последовательностей букв ($p < 0,001$ при попарном сравнении всех длин между собой), несколько слабее, но значим — при воспроизведении цифр ($p < 0,022$ во всех сравнениях), и еще слабее — при воспроизведении траекторий (Рисунок 3В) (значимо только при сравнении коротких и длинных последовательностей, $p = 0,004$).

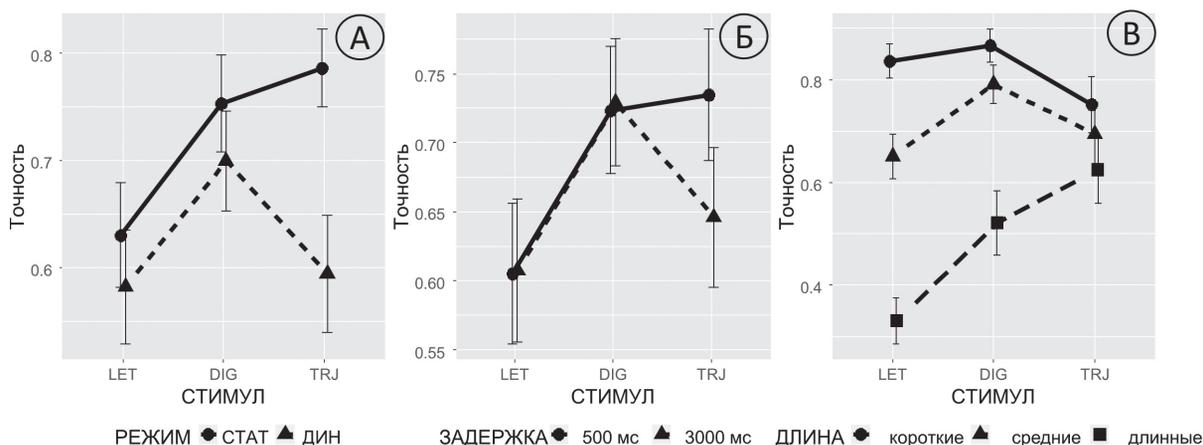


Рисунок 3

Средние значения точности ответов при взаимодействии фактора СТИМУЛ с другими факторами. Столбики ошибок — 95% доверительный интервал среднего

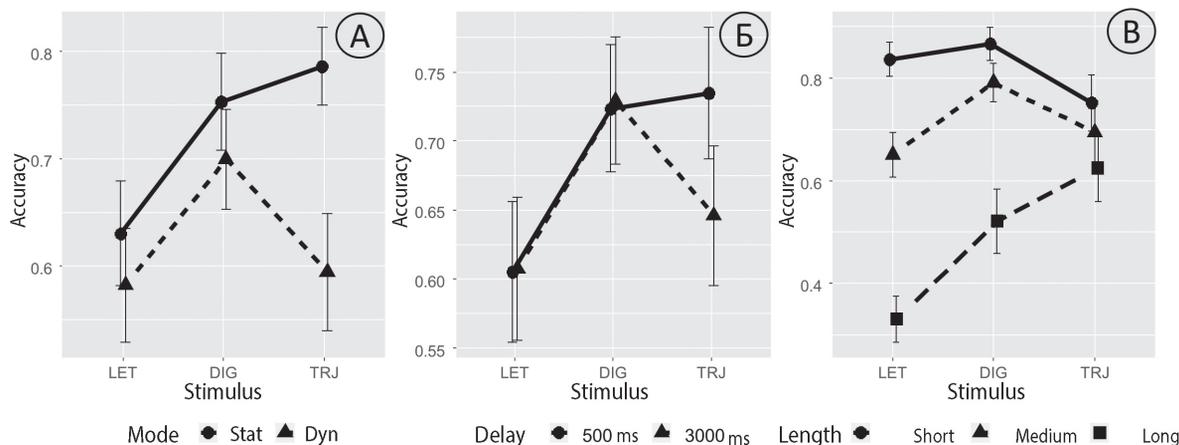


Figure 3

Mean accuracy for the STIMULUS TYPE interaction with other factors. Error bars are 95% confidence interval

Оценки влияний тройных взаимодействий факторов позволили выделить только одно значимое тройное взаимодействие — РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА. Оно связано с тем, что при корот-

кой задержке ответа в 500 мс эффект длины сильнее в статическом режиме (Рисунок 4 слева), а при задержке в 3000 мс эффект длины в двух режимах предьявления практически одинаков (Рисунок 4 справа).

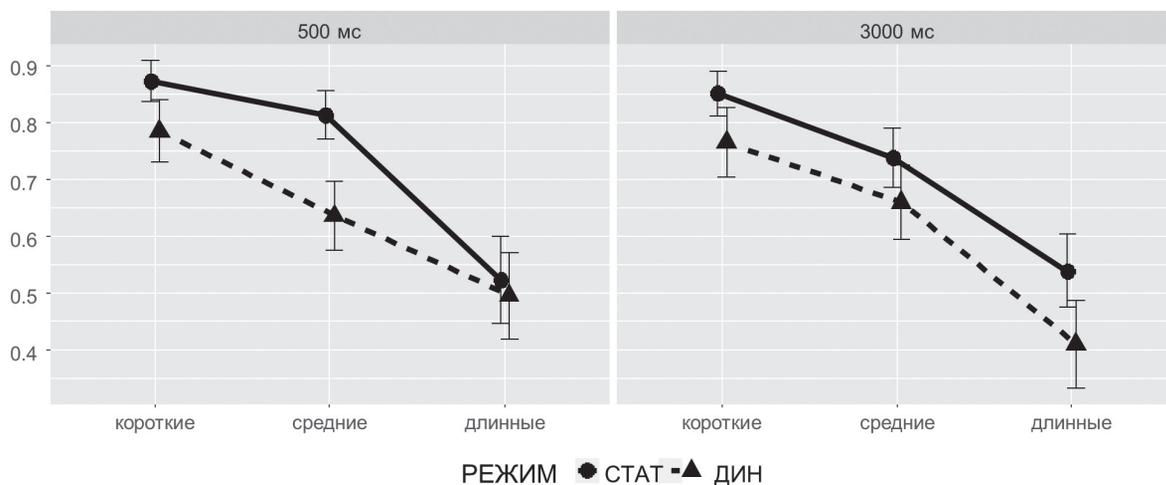


Рисунок 4

Средние значения точности ответов при взаимодействии факторов РЕЖИМ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА. Столбики ошибок — 95% доверительный интервал среднего

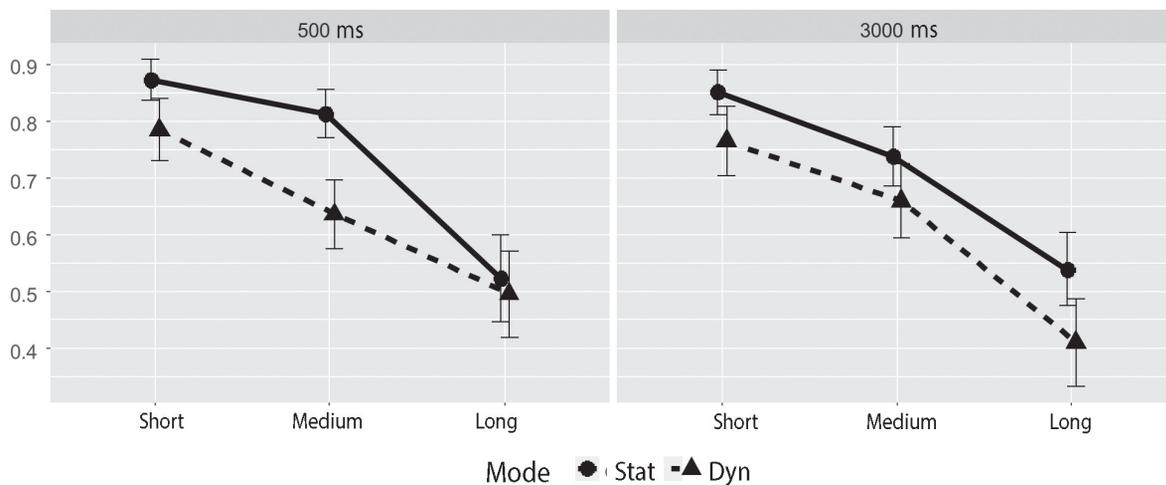


Figure 4

Mean values of response accuracy for interaction of factors MODE × DELAY × LENGTH. Error bars are 95% confidence interval

В отношении ВР обнаружены следующие значимые эффекты:

ЗАДЕРЖКА — ВР заметно уменьшается при увеличении времени задержки от 500 к 3000 мс (Рисунок 5А).

Влияние взаимодействия факторов СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА — различия между ВР при разном времени задержки слабо различаются при воспроизведении букв и цифр ($p > 0,300$ в обоих случаях), но заметно в случае воспроизведения траекторий — при увеличе-

нии времени задержки ответа в этом случае RT резко снижается (Рисунок 5Б) ($p = 0,001$).

Влияние взаимодействия факторов СТИМУЛ × ДЛИНА — увеличение длины последовательности приводит к некоторому увеличению ВР при воспроизведении цифр, почти не оказывает влияние на ВР при воспроизведении букв, а в случае траекторий рост длины последовательности приводит к снижению времени реакции (Рисунок 5В).

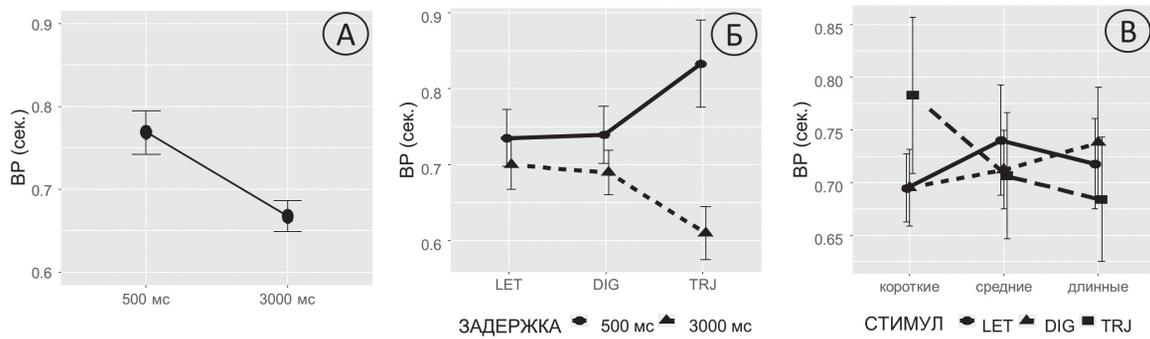


Рисунок 5

Средние значения времени реакции в зависимости от (А) времени задержки, (Б) типа стимула и времени задержки и (в) типа стимула и длины последовательности. Столбики ошибок — 95% доверительный интервал среднего

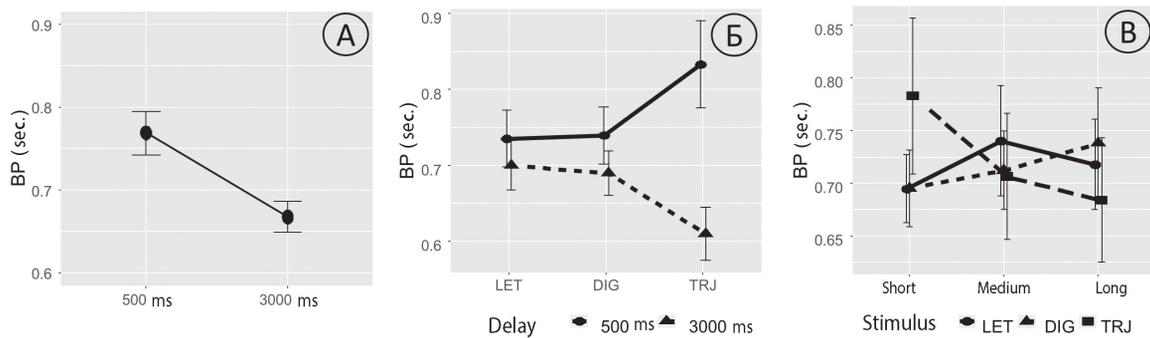


Figure 5

Mean reaction times in dependence on (A) DELAY, (B) STIMULUS TYPE and DELAY, and (c) STIMULUS TYPE and LENGTH. Error bars are 95% confidence

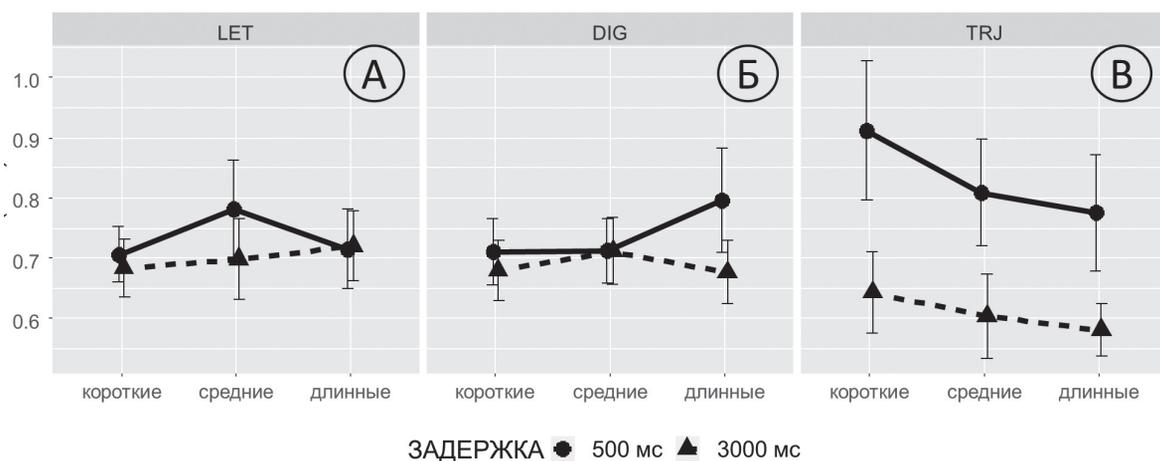


Рисунок 6

Средние значения BP при учете взаимодействия факторов СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА. Столбики ошибок — 95% доверительный интервал среднего

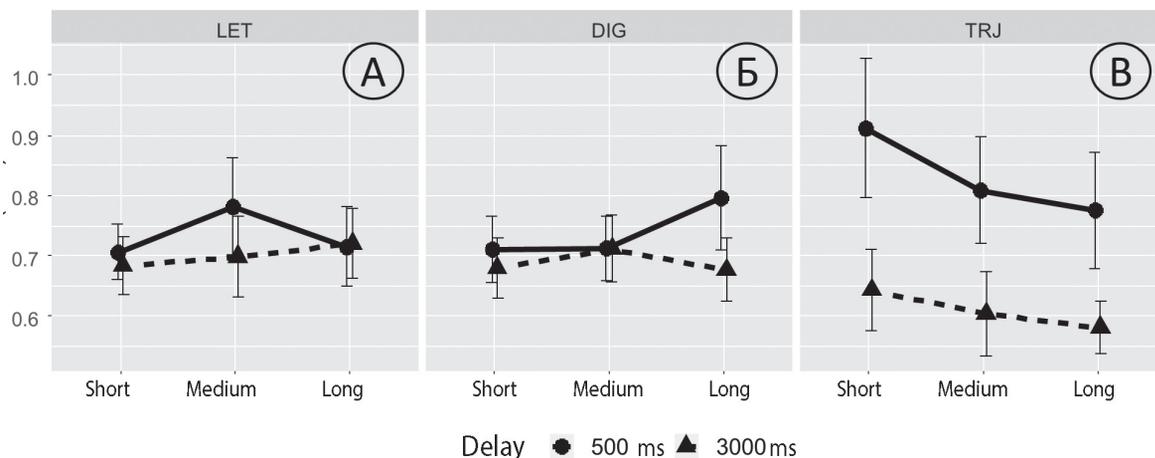


Figure 6
Mean Reaction time for interaction of STIMULUS TYPE × DELAY × LENGTH. Error bars are 95% confidence interval

Также обнаружено значимое взаимодействие факторов СТИМУЛ × ЗАДЕРЖКА × ДЛИНА, число элементов при разном времени задержки сказывается на ВР по-разному для трех типах последовательностей: при воспроизведении букв и при короткой, и при большой задержке эффект длины практически отсутствует (Рисунок 6А), при воспроизведении цифр эффект длины (увеличение ВР) заметнее при короткой задержке, а при длинной — практически отсутствует (Рисунок 6Б), при воспроизведении траекторий эффект длины одинаков при короткой и длинной задержке, при этом ВР снижается при увеличении длины (Рисунок 6В).

Обсуждение результатов

Результаты указывают, что у детей наибольшие затруднения вызывает запоминание буквенных последовательностей, а наиболее точно они воспроизводят цифровые последовательности, что согласуется с результатами, полученными на взрослых (Korneev et al., 2022). Можно предположить, что у детей 10–11 лет, так же как у взрослых, механизм перекодирования позволяет группировать последовательности цифр в многозначные числа, такое объединение отдельных элементов хорошо известно (см., например, Fendrich, Arengo, 2004). Используемые же нами в эксперименте последовательности букв в такие группы не объединяются, они запоминаются как последовательности элементов, за счет чего задача оказывается более сложной, чем запоминание цифр. На это также указывает максимальный эффект длины, полученный именно при воспроизведении букв (Рисунок 3В), при воспроизведении цифр этот эффект меньше и проявляется при максимальной длине последовательности. Стоит обратить внимание на различие эффекта последовательности для трех типов стимулов. В целом,

снижение точности ответов при увеличении длины последовательности известно из литературы: оно обнаруживается при воспроизведении вербальных и невербальных стимулов (Barton et al., 2014; Brown et al., 2013). По нашим данным, это эффект наиболее силен при воспроизведении букв, несколько слабей при воспроизведении цифр и минимален для траекторий. Таким образом, можно предположить, что ломаная кривая запоминается как целостный объект, число его сегментов играет менее существенную роль, в то время как успешность воспроизведения вербальных последовательностей (особенно не объединяемых в более крупные единицы букв) обнаруживает снижение точности при увеличении длины последовательности за счет ограниченного объема РП у детей 9–11 лет. У взрослых этот эффект длины выражен слабее (Корнеев и др., 2022), и они воспроизводят последовательности букв лучше за счет большего объема РП. Данные многих исследований показывают, что от младшего школьного ко взрослому возрасту увеличивается объем вербальной и невербальной памяти, причем с разной скоростью, как указывалось во введении, наиболее заметно растут возможности вербальной памяти (Roberts et al., 2018). Учет модальности в сочетании с режимом предъявления показывает, что дети хорошо (лучше вербальных) воспроизводят статически предъявленные траектории и заметно хуже динамические (сопоставимо с наихудшим показателем воспроизведения букв), а в вербальных стимулах эффекта режима предъявления не наблюдается. Это соответствует результатам, полученным ранее на взрослой выборке, в которой также режим предъявления оказался важным только при воспроизведении невербальных последовательностей (Корнеев и др., 2022), а также согласуется с данными других исследований (Pickering et al., 2001) о снижении точности воспроизведения зрительно-пространственных стимулов у детей и взрослых,

когда они предъявляются в динамическом режиме по сравнению со статическим режимом. Наличие влияние режима только при удержании невербальных последовательностей также может свидетельствовать в пользу вывода о запоминании детьми невербальной последовательности как целостного объекта при статическом предъявлении. В динамическом режиме, когда ребенок запоминает траекторию движущегося объекта, построение целостного образа может быть затруднительным, в силу чего запоминание происходит на уровне отдельных элементов (сегментов траектории) и точность снижается, становясь сопоставимой с точностью воспроизведения букв. Кроме того, заметим, что при сравнении воспроизведения вербальной и невербальной информации следует учесть, что в пробах с ломанной кривой надо именно воспроизвести последовательность элементов, а в случае букв и цифр — только восстановить их порядок, и поэтому можно ожидать меньшую точность воспроизведения кривых по сравнению с вербальными последовательностями. Вместе с тем в данном исследовании мы не обнаружили существенного различия в точности воспроизведения букв и ломаных линий. Это может объясняться возрастными особенностями испытуемых, у которых, несмотря на большую сложность требуемого ответа, точность не снижается за счет лучшего удержания ломаной линии, в особенности при статическом предъявлении (см. обсуждение выше). Что касается вербальных последовательностей, по данным других исследований, есть тенденция к снижению точности в динамическом режиме, полученная на выборке англоязычных взрослых при воспроизведении последовательностей слов (Ordóñez Magro et al., 2022) и букв (Frick, 1985; McFayden et al., 2023). Этот эффект в нашем случае не достигает значимости, что может быть связано с общей сложностью запоминания буквенных последовательностей в детском возрасте (дети выполняют эти задания заметно хуже, чем взрослые в аналогичном эксперименте (у детей средняя точность в заданиях с буквами составила 0,60, а у взрослых — 0,85, (Корнеев и др., 2022)), и режим предъявления оказывается на этом фоне не столь существенным.

Выявленное в настоящем исследовании снижение точности ответов при увеличении времени удержания информации соответствует сходным данным, полученным на детских выборках (Towse et al., 1998), что говорит о меньшей устойчивости репрезентации последовательности у детей. В группе взрослых такого эффекта получено не было (Корнеев и др., 2022), что согласуется с данными об отсутствии эффекта забывания зрительной информации с увеличением времени ее удержания на протяжении 1–3 секунд (Souza, Oberauer, 2015). Вместе с тем в работе (Ricker, Cowan, 2014) показано, что на выборке взрослых при увеличении времени задержки до 6–12 секунд точность ответов снижается.

В отношении ВР снижение при увеличении времени удержания информации в РП согласуется с результа-

тами предыдущих исследований (Корнеев, Курганский, 2013; Корнеев, Ломакин, 2017; Корнеев и др., 2022). Важным является различие эффекта задержки ответа для стимулов разной модальности. В предыдущих исследованиях мы интерпретировали различную динамику ВР как свидетельство преобразования репрезентации последовательности от сенсорно-специфической к более абстрактной при сравнении динамической и статической информации (Корнеев, Курганский, 2013). В настоящем исследовании различия в динамике репрезентации практически отсутствуют в случае вербального материала и проявляется при удержании в РП невербальной информации (Рисунок 5Б). Таким образом, можно говорить о том, что у нас нет оснований говорить о преобразовании репрезентации вербальных последовательностей в РП на протяжении 3 секунд, в отличие от невербальных, по крайней мере на основании поведенческих данных. Большую информацию об этом могут дать данные исследования электрической активности мозга, которая будет рассмотрена в последующих работах. Одновременно, этот результат указывает, что снижение ВР при удержании невербальной последовательности не связано с возможным проявлением эффекта предшествующего периода (foreperiod effect (Los, Horoufchin, 2011)). Этот эффект заключается в сокращении времени реакции на более поздние стимулы при варьировании времени задержки ответа за счет повышения готовности испытуемого к ответу. Такого рода эффект должен проявляться в ответах независимо от модальности стимулов, что не соответствует нашим данным. С другой стороны, ВР в задаче воспроизведения последовательности может зависеть от необходимости подготовки моторного ответа, и, в случае воспроизведения кривой, этот процесс может влиять в большей степени.

В текущем эксперименте не удалось обнаружить различий ВР при варьировании времени задержки при различных способах предъявления информации. Это значит, что мы не можем судить о различиях преобразования репрезентации серийной информации у детей при различных способах ее предъявления.

Интересно, что эффект длины (изменение ВР при увеличении числа элементов последовательности) в детской выборке разнонаправлен при сопоставлении стимулов разного типа. ВР снижается при увеличении длины невербальной последовательности, но не меняется или незначительно растет в случае воспроизведения вербальной информации. Интерпретация данного результата требует дальнейшего более подробного анализа и обсуждения, но одно из возможных объяснений заключается в том, что при воспроизведении все более сложных траекторий дети сокращают этап предварительного моторного программирования последовательности движений, увеличивая долю текущего программирования. Это предположение можно проверить, включив в анализ время выполнения и пауз при воспроизведении ломаной кривой, что будет сделано в последующих работах.

Выводы

1. У детей в рабочей памяти относительно плохо удерживаются вербальные стимулы (последовательность букв), при этом цифровые последовательности, которые могут объединяться в целостные объекты (многозначные числа) запоминаются хорошо. Невербальные последовательности лучше всего воспроизводятся в статическом режиме, а хуже — в динамическом. Это может быть связано с тем, что статические невербальные последовательности (ломаные кривые) запоминаются как целостный объект, а вербальные (буквенные) последовательности, предъявляемые как статически, так и динамически — в большей степени как последовательность, что увеличивает нагрузку на РП и приводит к снижению точности воспроизведения.
2. Эффект длины различается при запоминании трех типов стимулов, его большая выраженность для вербальных последовательностей (прежде всего — для буквенных) также может свидетельствовать о том, что они запоминаются как серия элементов, а снижение для невербальных — о том, что эта информация запоминается в большей степени как целостный объект.
3. Время хранения информации в РП у детей оказывает существенный эффект только при запоминании невербальных последовательностей, что указывает на возможно большую изменчивость невербальных репрезентаций по сравнению с вербальными.

Список литературы

- Антонова, А.А., Абсагова, К.А., Корнеев, А.А., Курганский, А.В. (2015). Отсроченное двигательное воспроизведение незамкнутых полигонов, заданных статическим и динамическим зрительным образцом: сравнение детей 9–11 лет и взрослых. *Физиология человека*, 41(2), 38–45.
- Корнеев, А.А., Курганский, А.В. (2013). Внутренняя репрезентация серии движений при воспроизведении статического рисунка и траектории движущегося объекта. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*, 63(4), 437–450. <https://doi.org/10.7868/S0044467713040060>
- Корнеев, А.А., Ломакин, Д.И. (2017). Экспериментальное исследование рабочей памяти у детей и взрослых на материале воспроизведения последовательностей, заданных зрительным образцом. *Экспериментальная психология*, 10(1), 53–66. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2017100105>
- Корнеев, А.А., Ломакин, Д.И., Курганский, А.В., Мачинская, Р.И. (2022). Удержание вербальной и невербальной серийной информации в рабочей памяти. *Психология. Журнал Высшей Школы экономики*, 19(2), 303–322. <https://doi.org/10.17323/1813-8918-2022-2-303-322>
- Alloway, T.P., Gathercole, S.E., Pickering, S.J. (2006). Verbal and Visuospatial Short-Term and Working Memory in Children: Are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698–1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- Attout, L., Ordóñez Magro, L., Szmalec, A., Majerus, S. (2018). The Developmental Neural Substrates of Item and Serial Order Components of Verbal Working Memory. *Human Brain Mapping*, 40(5), 1541–1553. <https://doi.org/10.1002/hbm.24466>
- Baddeley, A.D., Hitch, G. (1974). Working memory. In: G. Bower, (ed.). *Psychology of Learning and Motivation*. Vol. 8. (pp. 47–89). Cambridge: Academic Press.
- Baddeley, A.D., Hitch, G.J., Allen, R.J. (2019). From Short-Term Store to Multicomponent Working Memory: The role of the modal model. *Memory & Cognition*, 47(4), 575–588. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0878-5>
- Barton, J.J.S., Hanif, H.M., Björnström, L.E., Hills, C. (2014). The Word-Length Effect in Reading: A review. *Cognitive Neuropsychology*, 31(5–6), 378–412. <https://doi.org/10.1080/02643294.2014.895314>
- Brown, G.G., Turner, T.H., Mano, Q.R., Bolden, K., Thomas, M.L. (2013). Experimental Manipulation of Working Memory Model Parameters: An exercise in construct validity. *Psychological Assessment*, 25(3), 844–858. <https://doi.org/10.1037/a0032577>
- Camos, V. (2017). Domain-Specific Versus Domain-General Maintenance in Working Memory. In the *Psychology of Learning and Motivation*. Vol. 67. (pp. 135–171). Amsterdam: Elsevier Publ.
- Carretti, B., Giofrè, D., Toffalini, E., Cornoldi, C., Pastore, M., Lanfranchi, S. (2022). Structure of Working Memory in Children from 3 to 8 Years Old. *Developmental Psychology*, 58(9), 1687–1701. <https://doi.org/10.1037/dev0001385>
- Depoorter, A., Vandierendonck, A. (2009). Evidence for Modality-Independent Order Coding in Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(3), 531–549. <https://doi.org/10.1080/17470210801995002>
- Donato, R., Pavan, A., Campana, G. (2020). Investigating the Interaction Between Form and Motion Processing: A review of basic research and clinical evidence. *Frontiers in Psychology*, (11), 566848. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.566848>
- Fendrich, D.W., Arengo, R. (2004). The Influence of String Length and Repetition on Chunking of Digit Strings. *Psychological Research (Psychologische Forschung)*, 68(4), 216–223. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0142-9>
- Frick, R.W. (1985). Testing Visual Short-Term Memory: Simultaneous Versus Sequential Presentations. *Memory & Cognition*, 13(4), 346–356. <https://doi.org/10.3758/BF03202502>
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Ambridge, B., Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory from 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Ginsburg, V., Archambeau, K., van Dijck, J.-P., Chetail, F., Gevers, W. (2017). Coding of Serial Order in Verbal, Visual and Spatial Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(5), 632–650. <https://doi.org/10.1037/xge0000278>
- Gmeindl, L., Walsh, M., Courtney, S.M. (2011). Binding Serial Order to Representations in Working Memory: A spatial/verbal dissociation. *Memory & Cognition*, 39(1), 37–46. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0012-9>
- Hurlstone, M.J., Hitch, G.J., Baddeley, A.D. (2014). Memory for Serial Order Across Domains: An overview of the literature and directions for future research. *Psychological Bulletin*, 140(2), 339–373. <https://doi.org/10.1037/a0034221>

- Jones, D., Farrand, P., Stuart, G., Morris, N. (1995). Functional Equivalence of Verbal and Spatial Information in Serial Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 1008–1018. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.4.1008>
- Korneev, A.A., Lomakin, D.I., Kurgansky, A.V., Machinskaya, R.I. (2022). Working Memory for Sequences of Verbal Stimuli: The impact of stimulus type and presentation mode. *The Russian Journal of Cognitive Science*, 9(1-2), 53–64.
- Lehnert, G., Zimmer, H.D. (2008). Modality and Domain Specific Components in Auditory and Visual Working Memory Tasks. *Cognitive Processing*, 9(1), 53–61. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0187-6>
- Logie, R.H. (1995). Visuo-spatial working memory. Cambridge: Psychology Press.
- Majerus, S. (2019). Verbal Working Memory and the Phonological Buffer: The question of serial order. *Cortex*, (112), 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.04.016>
- Mammarella, I.C., Pazzaglia, F., Cornoldi, C. (2008). Evidence for Different Components in Children's Visuospatial Working Memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 26(3), 337–355. <https://doi.org/10.1348/026151007X236061>
- Marshuetz, C. (2005). Order Information in Working Memory: An integrative review of evidence from brain and behavior. *Psychological Bulletin*, 131(3), 323–339. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.323>
- McFayden, T.C., Faust, M.E., McIntosh, A., Multhaup, K.S. (2023). Effect of Visual Presentation Format and Recall Direction on Letter Span and Error Patterns in Deaf Signing and Hearing Adults. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 85(5), 1631–1648. <https://doi.org/10.3758/s13414-023-02664-x>
- Ordonez Magro, L., Miraault, J., Grainger, J., Majerus, S. (2022). Sequential Versus Simultaneous Presentation of Memoranda in Verbal Working Memory: (How) Does It Matter? *Memory & Cognition*, 50(8), 1756–1771. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01284-4>
- Pickering, S.J., Gathercole, S.E., Hall, M., Lloyd, S.A. (2001). Development of Memory for Pattern and Path: Further Evidence for the Fractionation of Visuo-Spatial Memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A*, 54(2) 397–420. <https://doi.org/10.1080/02713755973>
- Ricker, T.J., Cowan, N. (2014). Differences between Presentation Methods in Working Memory Procedures: A matter of working memory consolidation. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 40(2), 417–428. <https://doi.org/10.1037/a0034301>
- Roberts, K.L., Englund Strait, J.A., Decker, S.L. (2018). Developmental Trajectories of Verbal, Static Visual-Spatial, and Dynamic Visual-Spatial Working Memory. *Contemporary School Psychology*, 22(4), 458–467. <https://doi.org/10.1007/s40688-018-0176-z>
- Souza, A.S., Oberauer, K. (2015). Time-Based Forgetting in Visual Working Memory Reflects Temporal Distinctiveness, Not Decay. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 156–162. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0652-z>
- Thomason, M.E., Race, E., Burrows, B., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G. H., Gabrieli, J.D.E. (2009). Development of Spatial and Verbal Working Memory Capacity in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(2), 316–332. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21028>
- Tian, Y., Beier, M.E., Fischer-Baum, S. (2022). The Domain-Specificity of Serial Order Working Memory. *Memory & Cognition*, 50(5), 941–961. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01260-4>
- Towse, J.N., Hitch, G.J., Hutton, U. (1998). A Reevaluation of Working Memory Capacity in Children. *Journal of Memory and Language*, 39(2), 195–217. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2574>
- Wager, T.D., Smith, E.E. (2003). Neuroimaging Studies of Working Memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, (3), 255–274. <https://doi.org/10.3758/CABN.3.4.255>

References

- Alloway, T.P., Gathercole, S.E., Pickering, S.J. (2006). Verbal and Visuospatial Short-Term and Working Memory in Children: Are they separable? *Child Development*, 77(6), 1698–1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>
- Antonova, A.A., Absatova, K.A., Korneev, A.A., Kurgansky, A.V. (2015). A Delayed Motor Production of Open Chains of Linear Strokes Presented Visually in Static and Dynamic Modes: A comparison between 9 to 11 years old children and adults. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*, 41(2), 38–45. (In Russ.)
- Attout, L., Ordonez Magro, L., Szmalec, A., Majerus, S. (2018). The Developmental Neural Substrates of Item and Serial Order Components of Verbal Working Memory. *Human Brain Mapping*, 40(5), 1541–1553. <https://doi.org/10.1002/hbm.24466>
- Baddeley, A.D., Hitch, G. (1974). Working memory. In: G. Bower, (ed.). *Psychology of Learning and Motivation*. Vol. 8. (pp. 47–89). Cambridge: Academic Press.
- Baddeley, A.D., Hitch, G.J., Allen, R.J. (2019). From Short-Term Store to Multicomponent Working Memory: The role of the modal model. *Memory & Cognition*, 47(4), 575–588. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0878-5>
- Barton, J.J.S., Hanif, H.M., Björnström, L.E., Hills, C. (2014). The Word-Length Effect in Reading: A review. *Cognitive Neuropsychology*, 31(5–6), 378–412. <https://doi.org/10.1080/02643294.2014.895314>
- Brown, G.G., Turner, T.H., Mano, Q.R., Bolden, K., Thomas, M.L. (2013). Experimental Manipulation of Working Memory Model Parameters: An exercise in construct validity. *Psychological Assessment*, 25(3), 844–858. <https://doi.org/10.1037/a0032577>
- Camos, V. (2017). Domain-Specific Versus Domain-General Maintenance in Working Memory. In *The Psychology of Learning and Motivation*. Vol. 67. (pp. 135–171). Amsterdam: Elsevier Publ.
- Carretti, B., Giofrè, D., Toffalini, E., Cornoldi, C., Pastore, M., Lanfranchi, S. (2022). Structure of Working Memory in Children from 3 to 8 Years Old. *Developmental Psychology*, 58(9), 1687–1701. <https://doi.org/10.1037/dev0001385>
- Depoorter, A., Vandierendonck, A. (2009). Evidence for Modality-Independent Order Coding in Working Memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(3), 531–549. <https://doi.org/10.1080/17470210801995002>
- Donato, R., Pavan, A., Campana, G. (2020). Investigating the Interaction Between Form and Motion Processing: A review of basic research and clinical evidence. *Frontiers in Psychology*, (11), 566848. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.566848>
- Fendrich, D.W., Arengo, R. (2004). The Influence of String Length and Repetition on Chunking of Digit Strings. *Psychological Research (Psychologische Forschung)*, 68(4), 216–223. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0142-9>

- Frick, R.W. (1985). Testing Visual Short-Term Memory: Simultaneous Versus Sequential Presentations. *Memory & Cognition*, 13(4), 346–356. <https://doi.org/10.3758/BF03202502>
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Ambridge, B., Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory from 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>
- Ginsburg, V., Archambeau, K., van Dijck, J.-P., Chetail, F., Gevers, W. (2017). Coding of Serial Order in Verbal, Visual and Spatial Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(5), 632–650. <https://doi.org/10.1037/xge0000278>
- Gmeindl, L., Walsh, M., Courtney, S.M. (2011). Binding Serial Order to Representations in Working Memory: A spatial/verbal dissociation. *Memory & Cognition*, 39(1), 37–46. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0012-9>
- Hurlstone, M.J., Hitch, G.J., Baddeley, A.D. (2014). Memory for Serial Order Across Domains: An overview of the literature and directions for future research. *Psychological Bulletin*, 140(2), 339–373. <https://doi.org/10.1037/a0034221>
- Jones, D., Farrand, P., Stuart, G., Morris, N. (1995). Functional Equivalence of Verbal and Spatial Information in Serial Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 1008–1018. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.4.1008>
- Korneev, A.A., Kurganskii, A.V. (2013). Internal representation of movement sequences built upon either static line drawings or trajectories of moving object. *Zhurnal vysshei nervnoi deiatelnosti imeni IP Pavlova = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov*, 63(4), 437–450. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0044467713040060>
- Korneev, A.A., Lomakin, D.I. (2017). Experimental study of working memory in children and adults in the task of delayed reproduction of visual presented sequences. *Eksperimental'naya psikhologiya = Experimental Psychology*, 10(1), 53–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2017100105>
- Korneev, A.A., Lomakin, D.I., Kurganskii, A.V., Machinskaya, R.I. (2022). Retention of verbal and nonverbal serial information in working memory. *Psikhologiya. Zhurnal Vysshei Shkoly ekonomiki = Psychology. Journal of the Higher School of Economics*, 19(2), 303–322. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/1813-8918-2022-2-303-322>
- Korneev, A.A., Lomakin, D.I., Kurgansky, A.V., Machinskaya, R.I. (2022). Working Memory for Sequences of Verbal Stimuli: The Impact of Stimulus Type and Presentation Mode. *The Russian Journal of Cognitive Science*, 9(1–2), 53–64. (In Russ.)
- Lehnert, G., Zimmer, H.D. (2008). Modality and Domain Specific Components in Auditory and Visual Working Memory Tasks. *Cognitive Processing*, 9(1), 53–61. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0187-6>
- Lehnert, G., Zimmer, H.D. (2008). Modality and Domain Specific Components in Auditory and Visual Working Memory Tasks. *Cognitive Processing*, 9(1), 53–61. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0187-6>
- Logie, R.H. (1995). Visuo-spatial working memory. Cambridge: Psychology Press.
- Majerus, S. (2019). Verbal Working Memory and the Phonological Buffer: The question of serial order. *Cortex*, (112), 122–133. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.04.016>
- Mammarella, I.C., Pazzaglia, F., Cornoldi, C. (2008). Evidence for Different Components in Children's Visuospatial Working Memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 26(3), 337–355. <https://doi.org/10.1348/026151007X236061>
- Marshuetz, C. (2005). Order Information in Working Memory: An integrative review of evidence from brain and behavior. *Psychological Bulletin*, 131(3), 323–339. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.3.323>
- McFayden, T.C., Faust, M.E., McIntosh, A., Multhaup, K.S. (2023). Effect of Visual Presentation Format and Recall Direction on Letter Span and Error Patterns in Deaf Signing and Hearing Adults. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 85(5), 1631–1648. <https://doi.org/10.3758/s13414-023-02664-x>
- Ordonez Magro, L., Mirault, J., Grainger, J., Majerus, S. (2022). Sequential Versus Simultaneous Presentation of Memoranda in Verbal Working Memory: (How) Does It Matter? *Memory & Cognition*, 50(8), 1756–1771. <https://doi.org/10.3758/s13421-022-01284-4>
- Pickering, S.J., Gathercole, S.E., Hall, M., Lloyd, S.A. (2001). Development of Memory for Pattern and Path: Further Evidence for the Fractionation of Visuo-Spatial Memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A*, 54(2) 397–420. <https://doi.org/10.1080%2F713755973>
- Ricker, T.J., Cowan, N. (2014). Differences between Presentation Methods in Working Memory Procedures: A matter of working memory consolidation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(2), 417–428. <https://doi.org/10.1037/a0034301>
- Roberts, K.L., Englund Strait, J.A., Decker, S.L. (2018). Developmental Trajectories of Verbal, Static Visual-Spatial, and Dynamic Visual-Spatial Working Memory. *Contemporary School Psychology*, 22(4), 458–467. <https://doi.org/10.1007/s40688-018-0176-z>
- Souza, A.S., Oberauer, K. (2015). Time-Based Forgetting in Visual Working Memory Reflects Temporal Distinctiveness, Not Decay. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(1), 156–162. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0652-z>
- Thomason, M.E., Race, E., Burrows, B., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G. H., Gabrieli, J.D.E. (2009). Development of Spatial and Verbal Working Memory Capacity in the Human Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(2), 316–332. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21028>
- Tian, Y., Beier, M.E., Fischer-Baum, S. (2022). The Domain-Specificity of Serial Order Working Memory. *Memory & Cognition*, 50(5), 941–961. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01260-4>
- Towse, J.N., Hitch, G.J., Hutton, U. (1998). A Reevaluation of Working Memory Capacity in Children. *Journal of Memory and Language*, 39(2), 195–217. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2574>
- Wager, T.D., Smith, E.E. (2003). Neuroimaging Studies of Working Memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, (3), 255–274. <https://doi.org/10.3758/CABN.3.4.255>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



Алексей Андреевич Корнеев, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории нейропсихологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; старший научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности Института развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва, Российская Федерация, korneeff@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6389-8215>

Aleksei A. Korneev, Cand. Sci. (Psychology), Senior Researcher at the Laboratory of Neuropsychology, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Psychology; Senior Researcher, Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Institute of Child Development, Health and Adaptation, Moscow, Russian Federation, korneeff@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6389-8215>



Дмитрий Игоревич Ломакин, научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности Института развития, здоровья и адаптации ребенка, Москва, Российская Федерация, lomakindima4@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0382-8172>

Dmitry I. Lomakin, Researcher, Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Institute of Child Development, Health and Adaptation, Moscow, Russian Federation, lomakindima4@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0382-8172>



Андрей Васильевич Курганский, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории Математической нейробиологии обучения института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН; старший научный сотрудник лаборатории когнитивных исследований факультета психологии института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Российская Федерация, akurg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7648-1996>

Andrei V. Kurgansky, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Mathematical Neurobiology of Learning, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS; Senior Researcher, Cognitive Research Lab, Faculty of Psychology, Institute for Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation, akurg@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7648-1996>



Регина Ильинична Мачинская, доктор биологических наук, заведующая лабораторией нейрофизиологии когнитивной деятельности Института развития, здоровья и адаптации ребенка; профессор кафедры общей психологии факультета психологии института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Москва, reginamachinskaya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5846-384X>

Regina I. Machinskaya, Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Institute of Child Development, Health and Adaptation; Professor of General Psychology Department, Institute for Social Sciences, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation, reginamachinskaya@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-5846-384X>

Поступила: 28.09.2023; получена после доработки: 27.11.2023; принята в печать: 19.10.2024.

Received: 28.09.2023; revised: 27.11.2023; accepted: 19.10.2024.