



# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ НА МАТЕРИАЛЕ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ, ЗАДАННЫХ ЗРИТЕЛЬНЫМ ОБРАЗЦОМ

**КОРНЕЕВ А.А.\***, МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет психологии, Москва, Россия,  
e-mail: korneeff@gmail.com

**ЛОМАКИН Д.И.\*\***, ИВФ РАО, лаборатория нейрофизиологии когнитивной деятельности, Москва, Россия,  
e-mail: lomakindima4@gmail.com

В статье изложены результаты эксперимента, направленного на исследование особенностей запоминания и двигательного воспроизведения незамкнутых контурных траекторий детьми 7 лет в сравнении со взрослыми. Обсуждаются особенности удержания последовательностей зрительно-пространственных элементов в рабочей памяти. В эксперименте принял участие 21 ребенок (средний возраст 7,2 года). Детям предлагалось запоминать предъявляемые им в виде зрительных образцов траектории и воспроизводить их с варьируемой от 0 до 4000 мс задержкой. Оценивались точность воспроизведения и временные характеристики ответов – время реакции и время выполнения последовательности движений. Далее проводился сравнительный анализ полученных данных с результатами выполнения аналогичного задания взрослыми. Показано, что дети справляются с заданием хуже, точность воспроизведения у них в большей степени зависит от времени удержания информации в памяти. Показатели изменчивости времени реакции у детей и взрослых не обнаружили значимых различий. Полученные данные свидетельствуют в пользу преобразования исходной, сенсорно-специфической репрезентации последовательности элементов в абстрактную форму как у детей, так и у взрослых.

**Ключевые слова:** рабочая память, младшие школьники, внутренняя репрезентация, серийные движения.

## Введение

В повседневной деятельности человек постоянно сталкивается с серийной информацией, когда те или иные элементы оказываются выстроенными в последовательность, которую необходимо воспринять, запомнить и воспроизвести. Как выстраивается репрезентация такой серийной информации? В рамках данной работы мы предпринимаем попытку

### Для цитаты:

Корнеев А.А., Ломакин Д.И. Экспериментальное исследование рабочей памяти у детей и взрослых на материале воспроизведения последовательностей, заданных зрительным образцом // Экспериментальная психология. 2017. Т. 10. № 1. С. 53–66. doi: 10.17759/exppsy.2017100105

\* Корнеев А.А. Кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории нейропсихологии, факультет психологии, Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, старший научный сотрудник, лаборатория нейрофизиологии когнитивной деятельности, Институт возрастной физиологии Российской Академии Образования, Москва. E-mail: korneeff@gmail.com.

\*\* Ломакин Д.И. Младший научный сотрудник, лаборатория нейрофизиологии когнитивной деятельности, Институт возрастной физиологии Российской Академии Образования, Москва, Россия. E-mail: lomakindima4@gmail.com



проанализировать особенности сохранения и отсроченного воспроизведения информации о последовательности зрительно-пространственных элементов у детей и взрослых.

Реализация заданной последовательности предполагает хранение информации о ней в рабочей памяти (РП, см. Baddeley, Hitch, 1974; Baddeley, Hitch, 1994). В настоящее время существует ряд моделей, описывающих возможные механизмы запоминания и удержания информации о последовательности стимулов (Hurlstone, Hitch, Baddeley, 2014; Hurlstone, Hitch, 2015). Согласно современным представлениям, репрезентации последовательностей могут храниться в различных формах (или кодах) – вербальной, пространственной или моторной, причем допускается одновременное существование нескольких форм репрезентаций (Verwey, Shea, Wright, 2015).

В наших предыдущих работах было показано, что характер отсроченного воспроизведения незамкнутых контуров взрослыми испытуемыми зависит от продолжительности задержки ответа (Корнеев, Курганский, 2013). Данные другой нашей работы свидетельствуют о том, что наблюдаемая динамика двигательного ответа испытуемого с изменением времени задержки не исчерпывается эффектом предшествующего периода (*foreperiod effect* (Los, Horoufchin, 2011)), заключающегося в закономерном изменении времени реакции в зависимости от продолжительности периода ожидания (Корнеев, Ломакин, Курганский, 2016). Такие данные позволяют предположить, что динамика времени реакции отражает изменение характера репрезентации в процессе ее удержания в РП.

Особый интерес представляет исследование возрастных изменений организации и функционирования РП: известно, что по мере взросления и созревания мозговых структур, увеличивается ее объем (Diamond, 2006). Также существующие данные позволяют говорить о повышении точности запоминания и удержания в РП зрительно-пространственных паттернов по мере взросления (Pickering, 2001). Исследования показывают, что наиболее бурное развитие РП происходит в возрасте 5–10 лет (Alloway, Alloway, 2010).

В таком случае встает вопрос – существуют ли различия в форме репрезентаций и их возможном преобразовании в РП у детей по сравнению со взрослыми. В литературе отмечается, что возможна специфическая для различных модальностей или доменов форма хранения информации, причем по мере взросления все большую роль начинает играть роль языка (Nelson, 2006; Spelke, 2003). Таким образом, можно предполагать, что по мере взросления, освоения и интериоризации языка память осуществляет более быстрый переход от одной системы репрезентаций – сенсорно-специфической – к другой системе, системе абстрактных форм.

Ресурсная концепция функционирования РП утверждает, что по мере увеличения объема удерживаемой информации снижается точность ее воспроизведения (см., например, Bays, Husain, 2008), однако отмечается, что точность воспроизведения возрастает по мере взросления (Heyes S. B. et al., 2012). В этой работе показано, что эффективность удержания и дальнейшего воспроизведения зрительной информации у детей 7-13 лет заметно повышается, причем этот эффект связан, скорее, с уменьшением изменчивости (*variability*) репрезентаций, то есть с повышением четкости их структуры. Аналогичный результат получен и в лонгитюдном исследовании детей той же возрастной группы (Heyes, Zokaei, Husain, 2016). Развитие РП на материале зрительной и пространственной информации связывается также с увеличением точности репрезентаций стимульного материала (Schutte, Spencer, 2009; Simmering, Patterson, 2012). В то же время работ, посвященных подобным возрастным изменениям репрезентаций в РП серийной последовательности, нам обнаружить не удалось, в силу чего исследование этого вопроса представляется достаточно интересным.



Исследователи отмечают, что важную роль в развитии РП играют функции произвольной регуляции деятельности, или управляющие функции (executive functions), обеспечивающие регуляцию внимания и удержание внутренних репрезентаций в РП (Regov, Baddeley, 2006). При запоминании и воспроизведении последовательности элементов эти функции могут быть особенно важны, в частности, при воспроизведении информации на основании абстрактных репрезентаций, когда необходимо перевести их в конкретный ответ в реальной ситуации. Так как эти функции связываются с относительно поздно созревающими лобными отделами головного мозга, которые особенно активно развиваются в дошкольном и младшем школьном возрасте (Семенова, Кошельков, Мачинская, 2007), можно предположить, что в случае ответа на основе сенсорной репрезентации статического образа траектории движения, когда требуются выстраивание порядка движений, у детей по сравнению со взрослыми может возникать больше затруднений в воспроизведении серийной информации.

При запоминании последовательности движений, заданных зрительным образцом, время реакции является отражением латентных процессов, связанных с подготовкой к ответу на основании удерживаемой в РП репрезентации стимульной последовательности. Изменение времени на подготовку ответа зависит от точности и четкости этой репрезентации. На примере простой двигательной реакции было неоднократно показано, что время, затрачиваемое на подготовку к ответу, с возрастом сокращается (Зайцев, Лупандин, Сурина, 1999; Kiselev, Espy, Sheffield, 2009). С другой стороны, в работе (Антонова и др., 2013) было показано, что в ситуации воспроизведения зрительного стимула в виде заданной зрительным образцом незамкнутой траектории время реакции может увеличиваться с возрастом, что может быть связано с более подробной и точной подготовкой к выполнению серийного движения.

Цель настоящего исследования состояла в анализе процессов запоминания и отсроченного воспроизведения незамкнутых траекторий, заданных зрительным образцом, детьми 7-8 лет в сравнении со взрослыми. Исходя из изложенных выше данных, можно предположить, что репрезентация последовательности движений у детей и взрослых может различаться с точки зрения точности, а также объема удерживаемой информации. Также интересным представляется вопрос о возможном характере изменения формы репрезентации у детей по сравнению со взрослыми – насколько эти процессы сходны или различаются в зависимости от возраста.

### Методика

*Выборка.* В эксперименте принял участие 21 ребёнок ( $7.2 \pm 0.2$  года, 16 девочек и 5 мальчиков). Все испытуемые были правшами с нормальным или корригированным зрением, без диагностированных неврологических нарушений.

*Задача испытуемых.* Испытуемых просили запоминать предъявляемые на экране компьютера траектории (ломанные кривые) и в ответ на подачу звукового императивного сигнала воспроизводить ее на графическом планшете. Начинать и выполнять движение надо было как можно быстрее после получения императивного сигнала, не исправляя ошибок, если они были допущены.

*Стимульный материал.* В качестве траекторий для запоминания и воспроизведения использовался набор из 160 незамкнутых ломаных линий, каждая из которых состояла из 6 вертикальных и горизонтальных отрезков стандартной, удвоенной или утроенной длины.



Этот набор был получен из 20 базовых траекторий без поворотной и осевой симметрии и допускающих не более одного самопересечения. Примеры исходных шаблонов приведены на рис. 1. Число шаблонов удваивалось за счет добавления зеркально-симметричных копий исходных шаблонов, а затем – учетверялось за счет добавления к 40 шаблонам их копий, повернутых на 90, 180 и 270 градусов ( $20 \times 2 \times 4 = 160$ ).

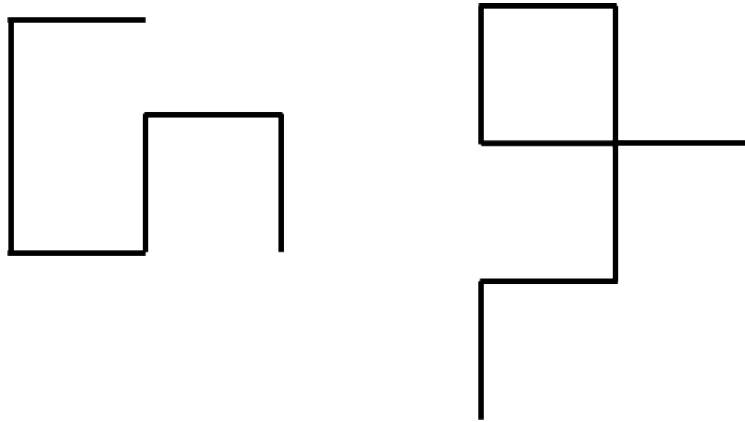


Рис. 1. Примеры шаблонов траекторий.

*Экспериментальная установка.* Эксперимент проводился с помощью компьютера, на дисплее которого предъявлялся стимульный материал, графического планшета с не оставляющим следа беспроводным пером (Wacom Intouos 3, частота опроса 100 Гц, разрешение – 2000 точек на сантиметр), регистрирующего двигательные ответы испытуемого, и игрового пульта, с помощью которого осуществлялся переход между пробами. Ход эксперимента, предъявление зрительных стимулов и регистрация ответов испытуемых осуществлялись с помощью программы, разработанной на базе пакета Matlab. Шаблоны траекторий предъявлялись на мониторе экспериментального компьютера (длина диагонали разрешением 1024x768 и частотой кадровой развертки 60 Гц) в положительном контрасте (белые фигуры на черном фоне) в центре экрана. Их максимальный размер не превышал 7.5 угловых градусов.

*Процедура эксперимента.* Схема отдельной пробы изображена на рис. 2. Проба началась с предъявления фиксационного креста в центре экрана в течение 1000 мс. Затем через динамики подавался короткий звуковой сигнал (щелчок длительностью 10 мс), служивший предупреждающим стимулом, и одновременно с ним в центре экрана на 250 мс предъявлялся зрительный шаблон траектории. После окончания предъявления стимула следовала временная задержка фиксированной длительности (0, 500, 1000, 2000, 4000 мс в разных блоках проб), затем подавался императивный сигнал (ещё один громкий короткий щелчок). В ответ на него испытуемый воспроизводил запомненный шаблон. Выполнение движений должно было начинаться из фиксированной стартовой позиции в центре графического планшета, куда испытуемого просили возвращать перо планшета по окончании воспроизведения траектории. Испытуемые воспроизводили запомненные шаблоны траекторий без зрительного контроля. После того, как он завершал копирование и возвращал перо в исходную позицию, экспериментатор нажимал кнопку игрового пульта и тем самым переходил к следующей пробе.

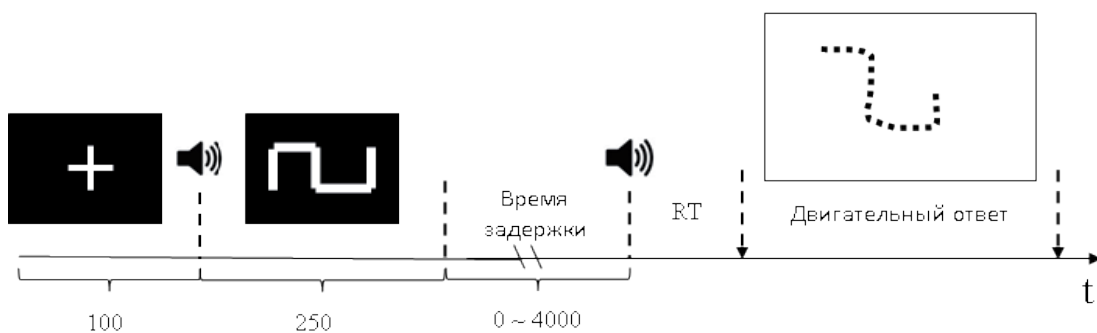


Рис. 2. Временное расписание событий в типичной пробе эксперимента. Вдоль оси времени  $t$  (время дано в миллисекундах) схематично показана последовательность событий: фиксационный крестик звуковой предупреждающий сигнал (1), шаблон траектории и звуковой императивный сигнал (2).

Эксперимент был построен по блочной схеме: каждый испытуемый выполнял 160 проб, разбитых на 5 блоков одинаковой длины по 32 пробы в каждом. Всем испытуемым предъявлялся набор из 160 траекторий, их порядок был квазислучайным, индивидуальным для каждого испытуемого. В пределах каждого блока время задержки ответа ( $T$ ) было фиксированным и составляло 0 мс (немедленное воспроизведение), 500, 1000, 2000 или 4000 мс. Половина испытуемых выполняла последовательность, в которой задержка  $T$  возрастала от 0 до 4000 мс, а другая половина – последовательность блоков, в которой  $T$  уменьшалась от 4000 до 0. До начала эксперимента каждый испытуемый выполнял короткую тренировочную серию из 8 проб. В середине эксперимента делался перерыв на 3-5 минут. Типичная продолжительность эксперимента составляла 30-35 минут.

Эксперимент проводился в специальном звукоизолированном помещении. Ребенок сидел на стуле, перед ним на стандартной школьной парте размещался графический планшет и дисплей, на котором предъявлялись зрительные стимулы. Расстояние от дисплея до глаз испытуемого составляло 50-60 см.

### Обработка результатов

Для каждого испытуемого полученные записи воспроизведения траекторий подвергались автоматической обработке, позволяющей определить число сегментов  $n$  в записанной траектории и вычислить следующие временные параметры (в миллисекундах): латентное время воспроизведения (далее – RT, от reaction time), среднее время выполнения одного сегмента (далее – MT, от movement time) и среднюю продолжительность остановок в вершинах траектории (далее – DT, от dwelling time). Процедура вычисления этих величин подробно описана в работе (Корнеев, Курганский, 2013). По этим данным для каждого испытуемого отдельно для каждой величины задержки  $T$  рассчитывали индивидуальные медианные значения RT, MT и DT.

Оценка точности воспроизведения траекторий испытуемыми проводилась с путем визуального анализа воспроизведенных траекторий. Для каждого испытуемого и отдельно для каждого из пяти значений задержки  $T$  подсчитывалось число ошибочно воспроизведенных траекторий. Подсчитывались ошибки разного типа: (а) искажение траектории, то есть такое серьезное отклонение воспроизведенной траектории от образца, что она становилась неузнаваемой; (б) упрощение траектории, то есть пропуск элементов траектории; (в) усложнение траектории – добавление лишних элементов при общем правильном ее воспро-



изведении траектории; (г) зеркальность при воспроизведении траектории – отражение относительно горизонтальной или вертикальной оси всей траектории или отдельных элементов. Примеры ошибок разного типа приведены на рис. 3.

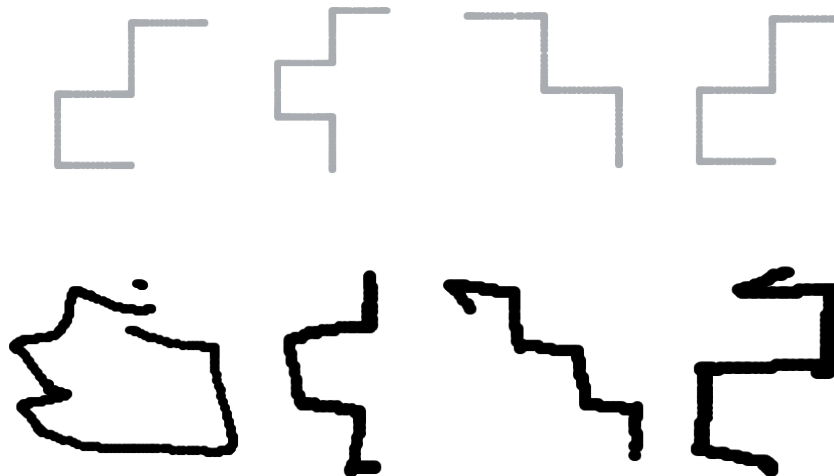


Рис. 3. Типичные ошибки воспроизведения траекторий. Верхний ряд – образцы траекторий, нижний ряд – ответы испытуемых. Представлены следующие типы ошибок (слева направо): искажение, упрощение, усложнение, зеркальность.

### Результаты

В дальнейшем полученные на детской выборке результаты будут анализироваться в сопоставлении с данными, полученными на выборке взрослых испытуемых (23 человека, средний возраст  $30 \pm 1,5$  лет). Процедура эксперимента и обработка результатов в этой выборке была аналогична описанной выше.

Среднее число ошибок при различном времени задержки в двух возрастных группах приведено на рис. 4.

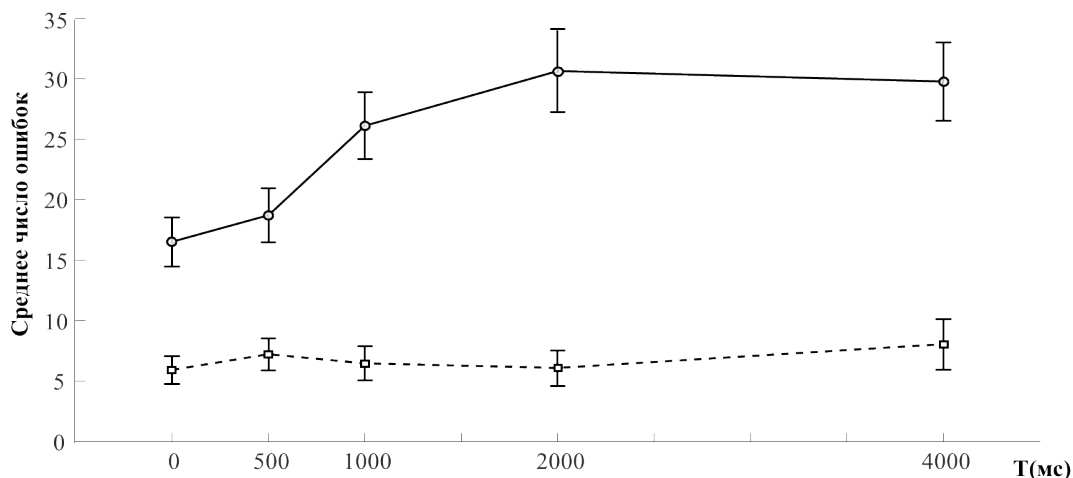


Рис. 4. Зависимость суммарного числа ошибок от времени задержки ответа в двух возрастных группах. Сплошной линией обозначены данные, полученные на выборке детей, пунктирной – данные, полученные на выборке взрослых.



Для статистического анализа зависимости числа допущенных ошибок от времени задержки был проведен дисперсионный анализ с внутригрупповым фактором «Время задержки» (4 уровня – 0, 500, 1000 и 4000 мс) и межгрупповым фактором «Возраст» (2 уровня – дети и взрослые). Он показал значимое влияние фактора «Возраст» ( $F(1, 43) = 54,669$ ,  $p < 0,001$ ) – дети допускают значительно больше ошибок, чем взрослые. Также значимо влияние фактора «Время задержки» ( $F(4, 40) = 6,445$ ,  $p < 0,001$ ), количество ошибок растет с увеличением времени удержания в памяти, причем в основном за счет группы детей, у взрослых такая тенденция практически отсутствует. В пользу этого свидетельствует и значимое влияние взаимодействия двух факторов ( $F(2, 40) = 5,424$ ,  $p = 0,001$ ).

Анализ отдельных типов ошибок показал, что и у детей, и у взрослых наиболее часто встречаются ошибки, связанные с добавлением лишних элементов к траектории. С другой стороны, наиболее грубые ошибки – искажение траектории до неузнаваемости – встречаются у детей в среднем в 12,5 % проб, а у взрослых – только в 2,1% проб.

Зависимость времени реакции (RT) от времени задержки ответа (T), полученные на выборках детей и взрослых, приведена на рис. 5.

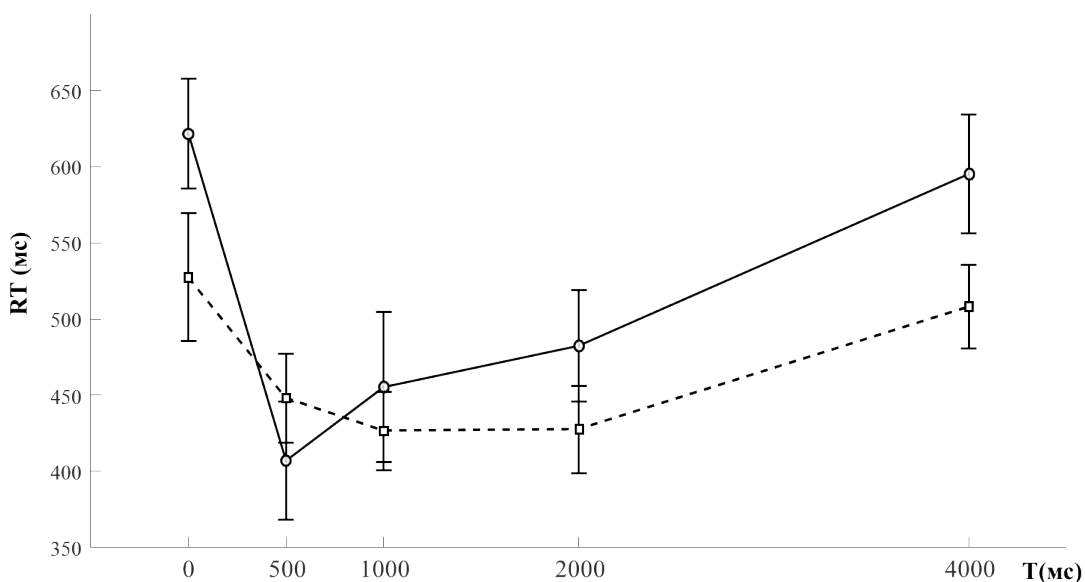


Рис. 5. Зависимость времени реакции от времени задержки ответа в двух возрастных группах. Сплошной линией обозначены данные, полученные на выборке детей, пунктирной – данные, полученные на выборке взрослых.

Дисперсионный анализ, аналогичный использованному при анализе ошибок, показал значимое влияние фактора «Время задержки» ( $F(4,40) = 19,969$ ,  $p < 0,001$ ). Фактор «Возраст» не оказывает значимого влияния ( $p = 0,237$ ). Влияние взаимодействия факторов «Возраст» и «Время задержки» оказалось значимым ( $F(4, 40) = 4,706$ ,  $p = 0,003$ , что обусловлено заметными различиями между двумя группами при минимальной и максимальной задержке и отсутствием таковых при задержках в интервале от 500 до 2000 мс.

Зависимость среднего времени выполнения элемента (MT) от времени задержки ответа (T) у детей и взрослых испытуемых представлена на рис. 6.

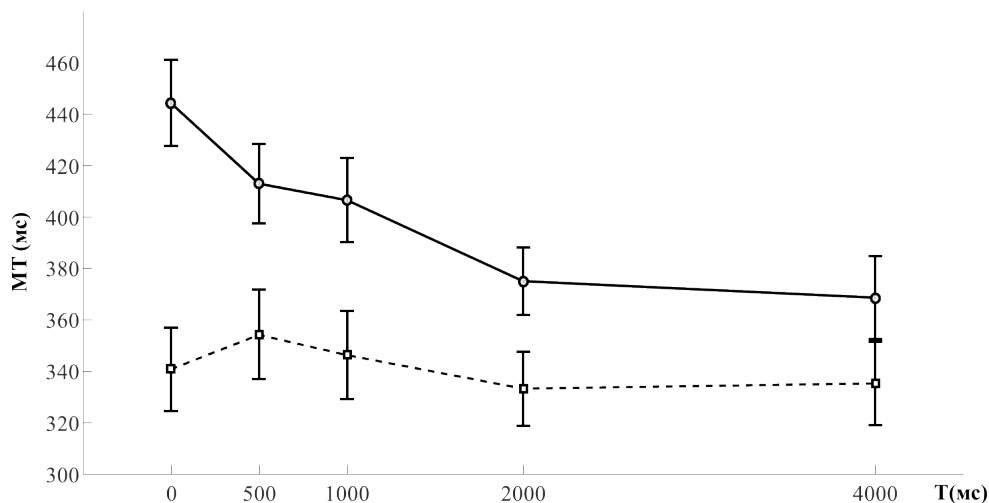


Рис. 6. Зависимость среднего времени выполнения элемента (MT) от времени задержки ответа в двух возрастных группах. Сплошной линией обозначены данные, полученные на выборке детей, пунктирной – данные, полученные на выборке взрослых.

Дисперсионный анализ с факторами «Время задержки» и «Возраст» в данном случае показал значимое влияние фактора «Возраст» ( $F(1, 43) = 8,770, p = 0,005$ ) – в целом, дети выполняют элемент медленнее, чем взрослые. Также значимым оказалось влияние времени задержки ответа ( $F(4, 40) = 4,521, p = 0,004$ ) – среднее время выполнения элемента сокращается по мере роста времени задержки. Это достаточно отчетливо проявляется в группе детей и практически не наблюдается в группе взрослых, что отражается в значимом влиянии взаимодействия двух факторов ( $F(4, 40) = 2,952, p = 0,031$ ).

Полученные значения среднего времени остановок в углах траекторий (DT) в зависимости от времени задержки ответа (T) у детей и взрослых испытуемых представлены на рис. 7.

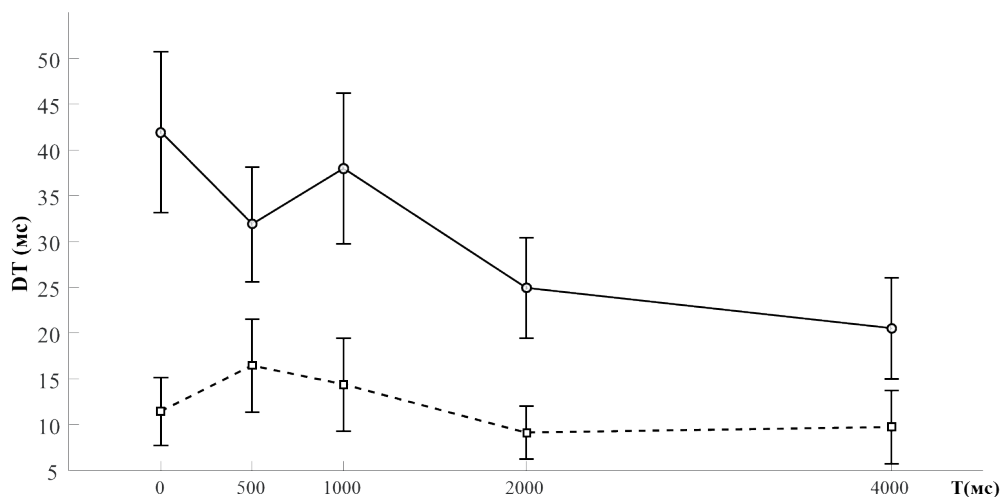


Рис. 7. Зависимость среднего времени остановок в вершинах траекторий (DT) от времени задержки ответа в двух возрастных группах. Сплошной линией обозначены данные, полученные на выборке детей, пунктирной – данные, полученные на выборке взрослых.





При анализе этого параметра дисперсионный анализ показал значимое влияние фактора «Возраст» ( $F(1, 43) = 7,536, p = 0,009$ ), у детей время остановок больше, чем у взрослых. DT также зависит от времени задержки ответа ( $F(4, 40) = 4,456, p = 0,005$ ) – среднее время выполнения элемента сокращается по мере роста времени задержки. В данном случае о различии динамики у детей и взрослых можно говорить лишь как о тенденции, влияние взаимодействия двух факторов субзначимо ( $F(4, 40) = 2,224, p = 0,084$ ).

### Обсуждение результатов.

Анализ выполнения экспериментального задания детьми 7 лет показал, что у них, по сравнению с взрослыми, наблюдаются более выраженные трудности в выполнении задания – они допускают большое количество ошибок при воспроизведении стимульного материала. Преобладание ошибок по типу упрощения или усложнения траекторий сопоставимо с данными о слабости управляющих функций у детей этого возраста (Антонова и др., 2013). Таким образом, можно констатировать, что задача воспроизведения стимула в ситуации отсутствия зрительной обратной связи оказывается для детей более сложной, чем для взрослых, это достаточно тривиальный и ожидаемый результат. На наш взгляд, намного более интересным результатом является полученные различия в динамике изменения точности и временных параметров воспроизведения у детей в отличие от взрослых.

У взрослых на фоне меньшего количества ошибок их число практически не меняется при увеличении времени удержания от 0 до 4000 мс. Это позволяет предположить, что репрезентация траектории у них более устойчива и не теряет своей четкости в течение удержания в РП, по крайней мере, на протяжении 4 секунд. У детей же отмечается резкий рост числа ошибок при времени задержки от 1000 мс и больше, что может свидетельствовать о достаточно быстром «обтаивании» репрезентации. Уже после двухсекундной задержки ребенок 7 лет часто оказывается неспособен безошибочно воспроизвести предъявленный ему стимул. Полученные в предыдущих исследованиях результаты позволили предположить, что у взрослых испытуемых изначальная, сенсорная репрезентация предъявляемой последовательности в рабочей памяти преобразуется в абстрактную форму в период от 1 до 2 секунд (Корнеев, Курганский, 2013). Новые данные об особенностях выполнения задания детьми согласуются с этими предположениями: примерно через 1000-2000 мс у взрослых испытуемых происходит преобразование внутренней репрезентации траектории движений в абстрактную форму, которое в детском возрасте не обладает достаточной точностью. Относительно малое число ошибок, допускаемых детьми при минимальных задержках в 0-500 мс, когда ответ строится на основе достаточно подробной сенсорной репрезентации стимула. Интересно, что именно при коротких задержках время движений и остановки в углах траектории у детей оказывается максимальной. В сочетании с тем фактом, что основная часть ошибок связана с неверным числом сегментов, данные результаты позволяют предположить, что сенсорная форма репрезентации, с одной стороны, позволяет более точно воспроизвести необходимое сочетание сегментов, но с другой, именно в детском возрасте эта задача требует дополнительного контроля. Таким образом, движения детей оказываются медленнее именно при коротких задержках, так как в ситуации построения ответа на основе сенсорной репрезентации дополнительное время уходит на выстраивание последовательности, тем большее, чем меньше развиты управляющие функции, позволяющие заранее спланировать сложную последовательность движений. При более долгих задержках ответа репрезентация трансформируется в абстрактную форму, которая вос-



производится детьми менее точно, но и с меньшими временными затратами. У взрослых же испытуемых ни в отношении числа ошибок, ни во временных параметрах ответов (за исключением времени реакции, обсуждаемой ниже) зависимости от времени задержки ответа получено не было, из чего следует заключить, что переход от сенсорной к абстрактной форме репрезентации приводит в случае взрослых к снижению точности этой репрезентации. Сопоставление этих данных с имеющимися исследованиями развития зрительной памяти (Schutte, Spencer, 2009; Simmering, Patterson, 2012) позволяют предположить, что повышение точности репрезентации с возрастом особенно заметно в отношении ее абстрактной формы.

Что касается времени реакции, то данный параметр у детей и взрослых в целом различается незначительно, подготовка к выполнению серии движений у них занимает практически одинаковое время. Такой результат согласуется с имеющимися данными о незначительном отличии RT у детей и взрослых (Meulemans, Van der Linden, Perruchet, 1998). На наш взгляд, особенно важно, что обе возрастные группы демонстрируют сходную динамику зависимости RT(T). Объяснение наблюдаемой зависимости предложено в работе (Корнеев, Ломакин, Курганский, 2016) и связывается, во-первых, с эффектом периода задержки (foreperiod effect), а во-вторых с процессами преобразования внутренней репрезентации последовательности движений в рабочей памяти. Новые данные, полученные на детской выборке, свидетельствуют в пользу устойчивости данного паттерна зависимости RT(T) и его относительной независимости от возраста испытуемых. То есть предполагаемые процессы преобразования репрезентации в РП достаточно универсальны и мало меняются с возрастом. Тем не менее, некоторые возрастные различия наблюдаются при немедленном воспроизведении и при максимальной задержке ответа, в обоих случаях время реакции детей больше, чем у взрослых. Подобный факт можно объяснить тем, что при необходимости немедленного ответа, детям может требоваться больше времени на подготовку ответа на основе сенсорной репрезентации, а при достаточно долгой задержке внутренняя репрезентация последовательности у них теряет свою четкость, что также приводит к дополнительным временным затратам на предварительное планирование и программирование предстоящих движений.

Таким образом, в целом на основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что у детей внутренняя репрезентация последовательности, заданная в форме зрительного образца, в процессе удержания претерпевает изменения, проявляющиеся в различии параметров их ответов в зависимости от времени задержки ответа. Репрезентация, предположительно преобразующаяся в абстрактную форму, у детей, в отличие от взрослых, становится менее точной, что приводит к резкому росту ошибок. Одновременно, при построении ответа на основе абстрактной репрезентации у детей снижается роль текущего программирования, оно занимает меньше времени. У взрослых, в свою очередь, время выполнения и остановок в процессе выполнения изначально достаточно низка и не меняется в зависимости от продолжительности удержания информации в рабочей памяти.

---

#### *Финансирование*

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-18-037037.

#### *Благодарности*

Авторы благодарят за помощь в подготовке и проведении эксперимента Курганского А.В., Пашинян Л.С., Швабауэр Т.М.



## **Литература**

1. Антонова А.А., Абсатова К.А., Корнеев А.А., Курганский А.В. Отсроченное двигательное воспроизведение незамкнутых полигонов, заданных статическим и динамическим зрительным образцом: сравнение детей 9–11 лет и взрослых // *Физиология человека*. 2013. Т. 41 №. 2. С. 38–45.
2. Зайцев А.В., Лупандин В.И., Сурина О.Е. Возрастная динамика времени реакции на зрительные стимулы // *Физиология человека*. 1999. Т. 25. №. 6. С. 34–37.
3. Корнеев А. А., Курганский А. В. Внутренняя репрезентация серии движений при воспроизведении статического рисунка и траектории движущегося объекта // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2013. Т. 63. №. 4. С. 437–450.
4. Корнеев А.А., Ломакин Д.И., Курганский А.В. Отсроченное копирование незнакомых контурных изображений: отражает ли убывание времени реакции с ростом задержки изменение внутреннего представления будущего движения? // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2016. Т. 66. №. 1. С. 51–61.
5. Семенова О. А., Кошельков Д. А., Мачинская Р. И. Возрастные изменения произвольной регуляции деятельности в старшем дошкольном и младшем школьном возрасте // *Культурно-историческая психология*. 2007. № 4. С. 39–49.
6. Alloway T. P., Alloway R. G. Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment // *Journal of experimental child psychology*. 2010. Vol. 106. №. 1. P. 20–29. doi: 10.1016/j.jecp.2009.11.003
7. Baddeley A. D., Hitch G. J. Developments in the concept of working memory // *Neuropsychology*. 1994. Vol. 8. №. 4. P. 485–493. doi: 10.1037/0894-4105.8.4.485
8. Baddeley A. D., Hitch G. // *Psychology of Learning and Motivation* / Ed. by G. H. Bower. New York: Academic Press, 1974. Vol. 8. P. 47–89.
9. Bays P. M., Husain M. Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision // *Science*. 2008. Vol. 321. №. 5890. P. 851–854. doi: 10.1126/science.1158023
10. Diamond A. The early development of executive functions // *Lifespan cognition: Mechanisms of change*. / Eds. E. Bialystock, F. I. M. Craik. Oxford, England: Oxford University Press, 2006. P. 70–95.
11. Heyes S. B., Zokaei N., van der Staaij I., Bays P. M., Husain M. Development of visual working memory precision in childhood // *Developmental science*. 2012. Vol. 15. №. 4. P. 528–539. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01148.x
12. Heyes S. B., Zokaei N., Husain M. Longitudinal development of visual working memory precision in childhood and early adolescence // *Cognitive Development*. 2016. Vol. 39. P. 36–44. doi: 10.1016/j.cogdev.2016.03.004
13. Hurlstone M. J., Hitch G. J., Baddeley A. D. Memory for serial order across domains: An overview of the literature and directions for future research // *Psychological bulletin*. 2014. Vol. 140. №. 2. P. 339–373. doi: 10.1037/a0034221
14. Hurlstone M. J., Hitch G. J. How is the serial order of a spatial sequence represented? Insights from transposition latencies // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2015. Vol. 41. №. 2. P. 295–324. doi: 10.1037/a0038223
15. Kiselev S., Espy K. A., Sheffield T. Age-related differences in reaction time task performance in young children // *Journal of Experimental Child Psychology*. 2009. Vol. 102. №. 2. P. 150–166. doi: 10.1016/j.jecp.2008.02.002
16. Los S. A., Horoufchin H. Dissociative patterns of foreperiod effects in temporal discrimination and reaction time tasks // *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2011. Vol. 64. №. 5. P. 1009–1020. doi: 10.1080/17470218.2010.532225
17. Meulemans T., Van der Linden M., Perruchet P. Implicit sequence learning in children // *Journal of experimental child psychology*. 1998. Vol. 69. №. 3. P. 199–221. doi: 10.1006/jecp.1998.2442
18. Nelson K. Development of representation in childhood // *Lifespan cognition: Mechanisms of change*. / Ed. by E. Bialystock & F. I. M. Craik. Oxford, England: Oxford University Press, 2006. P. 178–192.
19. Pickering S. J. The development of visuo-spatial working memory // *Memory*. 2001. Vol. 9. №. 4–6. P. 423–432. doi: 10.1080/09658210143000182
20. Repovš G., Baddeley A. The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology // *Neuroscience*. 2006. Vol. 139. №. 1. P. 5–21. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.12.061



21. Schutte A. R., Spencer J. P. Tests of the dynamic field theory and the spatial precision hypothesis: Capturing a qualitative developmental transition in spatial working memory // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2009. Vol. 35. №. 6. P. 1698–1725. doi: 10.1037/a0015794
22. Simmering V. R., Patterson R. Models provide specificity: Testing a proposed mechanism of visual working memory capacity development // *Cognitive development*. 2012. Vol. 27. №. 4. P. 419–439. doi: 10.1016/j.cogdev.2012.08.001
23. Spelke E. S. What makes us smart? Core knowledge and natural language // *Language in mind: Advances in the study of language and thought.* / Ed. by D. Gentner & S. Goldin-Meadow Cambridge, MA: MIT Press, 2003. P. 277–311.
24. Verwey W. B., Shea C. H., Wright D. L. A cognitive framework for explaining serial processing and sequence execution strategies // *Psychonomic bulletin & review*. 2015. Vol. 22. №. 1. P. 54–77. doi: 10.3758/s13423-014-0773-4

## EXPERIMENTAL STUDY OF WORKING MEMORY IN CHILDREN AND ADULTS IN THE TASK OF DELAYED REPRODUCTION OF VISUAL PRESENTED SEQUENCES

KORNEEV A.A.\* , *Lomonosov Moscow State University, korneeff@gmail.com*

LOMAKIN D.I.\*\* , *Institute of Developmental Physiology, lomakindima4@gmail.com*

The results of experimental study of memorizing and delayed reproduction (copying) of unfamiliar contour shapes in children and adult subjects are presented in the article. We analyzed the age-related characteristics of retention of the shapes (sequences) in working memory. 21 children (average age 7.2 y.o) participated in the experiment. They were shown trajectories (consisted of 6 vertical and horizontal lines) and were asked to remember and to reproduce them after acoustical go signal (short click). Go signal was delayed relatively to the end of trajectories exposure by  $T = 0, 500, 1000, 2000$  or  $4000$  ms. We analyzed the number of errors, reaction time (RT), mean movement time (MT) along a single segment of trajectory, and the mean dwell time (DT) in the vertices of the trajectory. We compared the results with the analogous data collected previously in the sample of adult subjects. The analysis shows that children made more errors. Beside among children the accuracy of the reproduction decreases with increasing of the delay of go signal. Also it is shown that RT depends on the delay  $T$ , and the shape of the dependence is similar among both children and adults. The results allow to assume the transformation of primary sensory-specific representation in an abstract representation of the sequence both in children and in adults.

**Keywords:** working memory, primary schoolchildren, serial order, inner representation.

### *Funding*

This work was supported by grant RSF № 14-18-037037.

### *Acknowledgements*

The authors are grateful for assistance in preparation of the experiment Kurgansky A.V., Pashinyan L.S., Shvabauer T.M.

### **For citation:**

Korneev A.A., Lomakin D.I. Experimental study of working memory in children and adults in the task of delayed reproduction of visual presented sequences. *Экспериментальная психология = Experimental psychology (Russia)*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 53–66. doi:10.17759/expsy.2017100105

\* *Korneev A.A.* Ph.D. in Psychology, Senior research associate, Lomonosov Moscow State University, Psychology Department, Moscow, Russia. Senior research associate, Institute of Developmental Physiology, Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, E-mail: korneeff@gmail.com.

\*\* *Lomakin D.I.* Junior research associate, Institute of Developmental Physiology, Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Moscow, Russia. E-mail: dimalomakin4@gmail.com



## References

1. Antonova A.A., Absatova K.A., Korneev A.A., Kurganskii A.V. Otsrochennoe dvigatel'noe vosproizvedenie nezamknutykh poligonov, zadannykh staticheskim i dinamicheskim zritel'nym obraztsom: sravnenie detei 9–11 let i vzroslykh [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]*. 2013, vol. 41, no. 2, p. 38–45 (In Russian; abstract in English)
2. Zaitsev A.V., Lupandin V.I., Surina O.E. Vozrastnaya dinamika vremeni reaktsii na zritel'nye stimuli [Age Dynamics of the Time of Reaction to Visual Stimuli]. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 1999, vol. 25, no. 6, p. 34–37.
3. Korneev A. A., Kurganskii A. V. Vnutrennyaya reprezentatsiya serii dvizhenii pri vosproizvedenii staticheskogo risunka i traektorii dvizhushchegosya ob»ekta [Internal Representation of Movement Sequences on Reproduction of Static Drawings and the Trajectories of Moving Objects]. *Zhurn. vyssh. nerv. deyatel'nosti im. IP Pavlova [IP Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]*. 2013, vol. 63, no. 4, p. 437–450.
4. Korneev A.A., Lomakin D.I., Kurganskii A.V. Otsrochennoe kopirovanie neznakomykh konturnykh izobrazhenii: otrazhaet li ubyvanie vremeni reaktsii s rostom zaderzhki izmenenie vnutrennego predstavleniya budushchego dvizheniya [Delayed Copying of Unfamiliar Contour Shapes: Does Reaction Time Decrease with Growing Delay Reflect a Change in Internal Representation Of Fothcoming Movement?]. *Zhurn. vyssh. nerv. deyatel'nosti im. IP Pavlova [IP Pavlov Journal of Higher Nervous Activity]*. 2016, vol. 66, no 1, p. 51–61.
5. Semenova O. A., Koshel'kov D. A., Machinskaya R. I. Vozrastnye izmeneniya proizvol'noi regulyatsii deyatel'nosti v starshem doshkol'nom i mladshem shkol'nom vozraste [Age-Specific Changes of Activity Self-Regulation in Preschool-Age and Early School-Age Children]. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya [Cultural-Historical Psychology]*. 2007, no 4, p. 39–49.
6. Alloway T. P., Alloway R. G. Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of experimental child psychology*. – 2010, vol. 106, no 1, p. 20–29. doi: 10.1016/j.jecp.2009.11.003
7. Baddeley A. D., Hitch G. J. Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*. 1994, vol. 8, no 4, p. 485–493. doi: 10.1037/0894-4105.8.4.485
8. Baddeley A. D., Hitch G. Working memory. *Psychology of learning and motivation*. 1974, vol. 8, p. 47–89.
9. Bays P. M., Husain M. Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*. 2008, vol. 321, no 5890, p. 851–854. doi: 10.1126/science.1158023
10. Diamond A. The early development of executive functions. In E. Bialystock & F. I. M. Craik (ed.), *Lifespan cognition: Mechanisms of change*. Oxford, England: Oxford University Press, 2006, p. 70–95.
11. Heyes S. B., Zokaei N., van der Staaij I., Bays P. M., Husain M. Development of visual working memory precision in childhood. *Developmental science*. 2012, vol. 15, no 4, p. 528–539. doi: 10.1111/j.1467-7687.2012.01148.x
12. Heyes S. B., Zokaei N., Husain M. Longitudinal development of visual working memory precision in childhood and early adolescence. *Cognitive Development*. 2016, vol. 39, p. 36–44. doi: 10.1016/j.cogdev.2016.03.004
13. Hurlstone M. J., Hitch G. J., Baddeley A. D. Memory for serial order across domains: An overview of the literature and directions for future research. *Psychological bulletin*. 2014, vol. 140, no 2, p. 339–373. doi: 10.1037/a0034221
14. Hurlstone M. J., Hitch G. J. How is the serial order of a spatial sequence represented? Insights from transposition latencies. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2015, vol. 41, no 2, p. 295–324. doi: 10.1037/a0038223
15. Kiselev S., Espy K. A., Sheffield T. Age-related differences in reaction time task performance in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*. 2009, vol. 102, no 2, p. 150–166. doi: 10.1016/j.jecp.2008.02.002
16. Los S. A., Horoufchin H. Dissociative patterns of foreperiod effects in temporal discrimination and reaction time tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 2011, vol. 64, no 5, p. 1009–1020. doi: 10.1080/17470218.2010.532225
17. Meulemans T., Van der Linden M., Perruchet P. Implicit sequence learning in children. *Journal of experimental child psychology*. 1998, vol. 69, no 3, pp 199–221. doi: 10.1006/jecp.1998.2442



18. Nelson K. Development of representation in childhood/ E. Bialystock & F. I. M. Craik (ed.), *Lifespan cognition: Mechanisms of change*. Oxford, England: Oxford University Press, 2006, p. 178–192.
19. Pickering S. J. The development of visuo-spatial working memory. *Memory*. 2001, vol. 9, no 4–6, p. 423–432. doi: 10.1080/09658210143000182
20. Repovš G., Baddeley A. The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*. 2006, vol. 139, no 1, p. 5–21. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.12.061
21. Schutte A. R., Spencer J. P. Tests of the dynamic field theory and the spatial precision hypothesis: Capturing a qualitative developmental transition in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2009, vol. 35, no 6, p. 1698–1725. doi: 10.1037/a0015794
22. Simmering V. R., Patterson R. Models provide specificity: Testing a proposed mechanism of visual working memory capacity development. *Cognitive development*. 2012, vol. 27, no 4, p. 419–439. doi: 10.1016/j.cogdev.2012.08.001
23. Spelke, E. S. What makes us smart? Core knowledge and natural language. In D. Gentner & S. Goldin-Meadow (ed.), *Language in mind: Advances in the study of language and thought*. Cambridge, MA: MIT Press., 2003, pp. 277–312
24. Verwey W. B., Shea C. H., Wright D. L. A cognitive framework for explaining serial processing and sequence execution strategies. *Psychonomic bulletin & review*. 2015, vol. 22, no 1, p. 54–77. doi: 10.3758/s13423-014-0773-4