

ВОЗРАСТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ФУНКЦИЙ В ДОШКОЛЬНОМ ВОЗРАСТЕ (ОТ 3-Х ДО 7-МИ ЛЕТ). НЕЙРОПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Захарова М.Н., Мачинская Р. И.

ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребенка», Москва
regina_home@inbox.ru

АННОТАЦИЯ. С целью выявления возрастных преобразований различных компонентов произвольной регуляции и организации целенаправленного поведения (управляющих функций – УФ) проведено качественное и количественное нейропсихологическое тестирование 472 детей дошкольного возраста в 4-х возрастных группах – 3-4 года, 4-5 лет, 5-6 лет и 6-7 лет. Результаты исследования свидетельствуют о неравномерности развития различных компонентов УФ. Статистически значимые прогрессивные изменения претерпевают способности: (1) усваивать инструкции, (2) следовать определенным программам деятельности, (3) переключаться с одного действия на другое, (4) планировать последовательность действий. Вместе с тем, дети всех возрастных групп, в том числе дети предшкольного возраста демонстрируют возрастную незрелость следующих компонентов УФ: (1) создание собственной стратегии деятельности, (2) переключение с одного алгоритма выполнения задания на другой, (3) самоконтроль за результатами деятельности, (4) рабочая память. Полученные данные указывают на важность развивающих занятий на основе совместной деятельности ребенка и взрослого взрослым в младшем дошкольном возрасте. С другой стороны, они свидетельствуют о нецелесообразности раннего (до 5 лет) начала целенаправленного обучения овладению навыками письма и чтения.

Ключевые слова: Управляющие функции, возрастные изменения, дети 3-7 лет, нейропсихология

Zakharova M. N., Machinskaya R. I.

Age-dependent changes of executive functions in preschool children (3 to 7 years).

To identify age-related transformations of various components of voluntary regulation and organization of goal-directed behavior (executive functions – EF), qualitative and quantitative neuropsychological assessment of 472 preschool children of 4 age groups (3-4, 4-5, 5-6 and 6-7 years) was performed. The results of the study indicate the heterochronic development of various components of EF. Statistically significant progressive changes were observed in: (1) mastering instructions, (2) following programs of activity, (3) action switching, (4) cognitive planning. At the same time, children of all age groups, including children of preschool age, demonstrate age-related

immaturity of the following components of EF: (1) creation of their own activity strategy, (2) task switching, (3) self-monitoring of activity results, (4) working memory. The data obtained show the importance of developmental education based on the joint activities of a child and an adult in early preschool age. On the other hand, they testify to the inappropriateness of an early (before 5 years) start of targeted training in mastering writing and reading skills.

Key words: *Executive functions, age-dependent changes, 3-7-year-old children, neuropsychology*

Управляющие функции мозга (УФ) – «зонтичный» термин, заимствованный из англоязычной литературы (brain executive function). Используется для описания различных процессов регуляции поведения и ментальной активности, которые обеспечивают достижение цели деятельности [26]. В отечественной нейропсихологии термин «управляющие функции» ассоциируется с широким спектром процессов программирования, избирательной регуляции и контроля целенаправленного поведения (деятельности), которые А. Р. Лурия относил к функциям лобных долей головного мозга (III функциональному блоку). В нейрокогнитивных исследованиях наибольшее распространение получила 3-компонентная модель УФ [21], включающая: 1) способность к торможению привычных или импульсивных реакций (inhibition), 2) когнитивную гибкость (cognitive flexibility), которую в отечественной литературе обычно связывают со способностью к переключению между задачами, и 3) рабочую память – способность кратковременно удерживать и обновлять информацию, необходимую для достижения цели деятельности.

Уровень сформированности компонентов деятельности, осуществляющих программирование, избирательную регуляцию и контроль когнитивных процессов и поведения, является критичным для когнитивного, социального и психического развития, успехов не только в школе, но и в жизни в целом, психического и физического здоровья [15].

На нейрональном уровне УФ представлены распределенными нейронными сетями, включающими различные зоны префронтальной коры (латеральные, медиальные, орбитальные и ростральные отделы) и подкорковые образования (гиппокамп, миндалина, базальные ганглии и др.), а также их связями между собой и с постцентрными ассоциативными теменными и нижневисочными областями коры [6]. Одной из значимых для реализации УФ систем мозга является фронто-таламическая система, объединяющая префронтальные зоны коры с ассоциативными ядрами таламуса и обеспечивающая избирательную модуляцию активности корковых зон в соответствии с задачами деятельности. Качественный скачок в созрева-

нии этой системы, происходит на этапе перехода от 5-6 лет к 6-7 годам, оказывая существенное влияние на развитие мозговых механизмов избирательного произвольного внимания и РП [7].

Большинство исследований произвольной регуляции и внимания в основном концентрируются на изучении этих функций у детей младшего школьного возраста [2, 4], а исследования развития управляющих функций в дошкольном возрасте встречаются значительно реже. В то же время именно в дошкольном возрасте наблюдается интенсивное развитие функций произвольной регуляции, обусловленное, с одной стороны, созреванием нисходящих влияний лобной коры на другие корковые зоны и глубинные структуры головного мозга, а с другой – социальными факторами, среди которых ключевым является переход к систематическому обучению.

Целый ряд работ указывает на прогностическую ценность ранних оценок индивидуального профиля УФ в отношении будущих успехов (или, напротив, трудностей) в школьном обучении. В лонгитюдном исследовании с помощью корреляционного и регрессионного анализ выяснено, что показатели зрительной кратковременной и рабочей памяти, измеренные у детей в 4 года, предсказывают успехи этих детей в изучении математики в возрасте 7 лет, в то время как уровень сформированности УФ предсказывает обучение в целом, а не обучение в одной конкретной области [14]. Уже у детей 3 лет обнаруживается статистическая связь между способностью к абстракции и когнитивной гибкостью [18]. К 5-ти годам дети способны выполнять программы, состоящие из нескольких действий в определенной последовательности, а возможности усваивать инструкции и алгоритмы деятельности обнаруживают наиболее выраженные положительные возрастные изменения при переходе от 5-6 к 6-7 годам [10]. Такие изменения в усвоении сложных программ деятельности могут быть связаны с увеличением объема рабочей памяти [11].

К концу дошкольного периода отмечается совершенствование способности подавления импульсивных действий [16]. Так, к 6-ти годам возрастает скорость реакции и уменьшается количество ошибок при выполнении конфликтной пробы, что согласуется с данными о формирующейся в этом возрасте системе тормозного контроля [23], которая однако пока не совершенна и продолжает активно развиваться по одним данным [13] до 8 лет, достигая максимума к 10-12, а по другим – до взрослого возраста [17]. Неоднозначность данных о развитии тормозного контроля может быть связана с тестированием разных видов тормозного контроля, таких как подавление движений, подавление нерелевантных мыслительных процессов или процессов обработки информации на сенсорном уровне [22]. При исследова-

нии различных форм внимания было установлено, что произвольный контроль зрительного внимания (executive attention), функция которого состоит в концентрации на целевом стимуле и подавлении обработки информации стимула-дистрактора, формируется к 7 годам [25]. В то же время у детей 5-7 лет отмечается возрастная незрелость компонентов переключения между задачами и возможностей контроля за выполнением собственных действий [9]. Даже в 7 лет дети испытывают затруднения в таких заданиях, где требуется удержать в рабочей памяти несколько возможных характеристик объекта и переключать внимание с одной характеристики на другую [12].

Еще одним важным компонентом УФ является контроль за протеканием собственной деятельности, который формируется довольно поздно. По данным [20] на протяжении всего младшего школьного возраста дети испытывают трудности обнаружения и коррекции своих ошибок.

Таким образом, анализ литературы показывает, что дошкольный возраст характеризуется интенсивным развитием многих компонентов УФ, что делает его исключительно интересным для тщательного изучения и анализа этих компонентов и их влияния на познавательные процессы и поведение. Вместе с тем, имеющиеся данные о возрастных изменениях УФ получены при исследовании детей старше 5 лет и касаются обычно какого-то одного компонента, существенно меньше известно об особенностях этих функций в раннем дошкольном возрасте. Задача настоящего исследования состояла в сравнительной оценке разных компонентов УФ у детей младшего, среднего и старшего дошкольного возраста. Выявление траекторий формирования основных компонентов УФ у детей в возрасте от 3-4 до 6-7 лет может способствовать разработке и включению в программы дошкольного образования научно обоснованных методов развивающего обучения, что существенно облегчит детям учебную и социальную адаптацию к школе.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены этическим комитетом ФГБНУ «ИРЗАР»

В исследовании приняли участие 472 дошкольника (49 детей 3-4 лет, 70 детей 4-5 лет, 154 ребенка 5-6 лет и 199 детей 6-7 лет), посещавшие детские дошкольные учреждения Москвы и Московской области. Более низкие объемы выборки в младших возрастных группах обусловлены значительным увеличением времени индивидуального тестирования детей 3-5 лет и фактической невозможностью проведения фронтальных обследований в этом

возрасте, что объективно связано с возрастной незрелостью произвольной регуляции деятельности у детей младше 5 лет.

Для исследования возрастных и индивидуальных особенностей различных компонентов УФ использовались *бланковые* и *компьютерные нейропсихологические тесты*, уровень сложности которых корректировался в соответствии с возрастом. Подробное описание тестов и процедур их проведения представлены в наших предыдущих публикациях [3, 27].

Бланковые методики для исследования детей 5-7 лет предъявлялись фронтально в группах от 10 до 15 человек (с участием ассистентов, помогающим детям с трудностями усвоения инструкций, а также отслеживающим различные поведенческие проявления в виде импульсивности или эмоциональных реакций, неадекватных ситуации обследования), для исследования детей 4-5 лет – индивидуально или в мини-группах (2-3 человека), а для исследования детей 3-4 лет – только индивидуально. Бланковые методики включали для детей всех возрастных групп следующие пробы: графомоторную пробу «Забор», тест «Нахождение различий», корректурную пробу, пробу «Лабиринты», пробу «Шифровка». Часть бланковых методик была взята из традиционного нейропсихологического обследования детей 6-9 лет [8], а часть была разработана специально для данного исследования. При проведении тестирования детей 3-5 лет нередко требовалась особая процедура. Так, перед некоторыми пробами нужна была дополнительная демонстрация. Для большинства детей 3-4 и 4-5 лет это было необходимо при усвоении инструкции к графомоторной пробе, также части детей требовалось продемонстрировать, что значит «подчеркнуть» смайлик и «зачеркнуть» пустой круг в корректурной пробе. В пробах «Поиск различий» и «Шифровка» часто достаточно было лишь повторения вербальной инструкции, реже – совместное выполнение в начале пробы, а в заданиях с лабиринтами почти все дети ориентировались на общую инструкцию.

Компьютеризированная часть исследования включало в себя методики, предъявляемые на планшете [1]. Для детей всех возрастных групп использовались компьютерная версия корректурной пробы, проба «Точки» и проба «Кубики Корси». Эти методики позволяют оценить способность ребенка следовать простой и обратной инструкции, переключаться с одной задачи на другую, удерживать усвоенные программы, подавлять нерелевантные задачи ответы, переключаться между двумя параллельными программами, концентрировать и удерживать внимание на задаче, в том числе монотонной, а также выявить особенности развития рабочей памяти (зрительно-вербальной и зрительно-пространственной). Все три используемые методики были модифицированы для детей 3-5 лет, т.к. в своем первоначальном ва-

рианте оказались недоступны в этом возрасте, как показало «пилотное» исследование. Например, при выполнении пробы «Кубики Корси» младшие дошкольники не понимали вербальную инструкцию, поэтому перед выполнением основной серии была введена тренировочная, которая способствовала усвоению инструкции к заданиям. В корректурной пробе количество стимулов было уменьшено с 192 до 48, а сами стимулы увеличены в 2 раза, поскольку дети 3-5 лет с одной стороны, очень быстро пресыщались при выполнении задания и начинали хаотично нажимать на все изображения стимулов на сенсорном экране, с другой стороны, не могли точно попасть в выбранное изображение. При предъявлении пробы «Точки» в 2 раза было увеличено время экспозиции стимула, поскольку дети 3-5 лет не успевали идентифицировать стимул и дать моторный ответ за отведенное им время.

Групповые различия анализируемых нейропсихологических показателей оценивались с помощью непараметрических статистических критериев: Н-критерия Крускала – Уоллиса для n независимых выборок, U-критерия Манна – Уитни для 2-х независимых выборок и критерия χ^2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Бланковые тесты

Распределение детей исследованной выборки по полу и возрасту представлено в таблице 1.

Таблица 1

Возрастно-половой состав сравниваемых групп

Группы	Пол		возраст
	мальчики	девочки	
3-4 года	31 (63,3%)	18 (36,7%)	3 года 6 мес ($\pm 2,5$ мес)
4-5 лет	35 (50%)	35 (50%)	4 года 6 мес ($\pm 4,5$ мес)
5-6 лет	77 (50%)	77 (50%)	5 лет 8 мес (± 5 мес)
6-7 лет	100 (50,3%)	99 (49,7%)	6 лет 9 мес (± 3 мес)

Из первых пяти бланковых методик наиболее сложной для детей 3-4 лет оказалась *графомоторная проба* («Забор»). Как показано на рисунке 1, дети 3-4 лет практически не могут усвоить инструкцию (81,6%), а дети 4-5 лет испытывают выраженные трудности усвоения графической программы, состоящей из 2-х элементов – 40,3% детей не смогли усвоить эту программу, в то время как в группе 5-6 лет такое встречалось лишь в 3,3 % случаев, а в 6-7 лет вообще не встречалось. При этом самостоятельно усвоить ин-



Рисунок 1. Распределение детей разных возрастных групп в зависимости от эффективности усвоения инструкции в графомоторной пробе

струкцию смогли примерно треть детей 4-5 лет (32,3%), большая часть детей 5-6 лет (74,8%) и абсолютное большинство детей 6-7 лет (96,9%). Дети сравниваемых возрастных групп значительно отличались, как по данному параметру ($\chi^2(6)=336.065$, $p<0.0001$), так и по параметру удержания программы ($\chi^2(4)=141.800$, $p<0.0001$), анализ которого представлен на рисунке 2.

Поскольку лишь двум детям из 49 удалось удержать графическую программу и самостоятельно нарисовать 2-4 элемента, данные по младшей группе на рисунке 2 не представлены. Из 59,7% детей 4-5 лет, которые все



Рис.2. Распределение детей разных возрастных групп в зависимости от способности удерживать программу действий в графомоторной пробе

же усвоили графическую программу, лишь 14,5% удалось ее удержать, еще 27,4% потребовалась дополнительная инструкция специалиста с напоминанием о необходимой последовательности. При этом графический образец, который все время был перед глазами детей, не помогал, многие дети даже не смотрели на него, начав выполнять пробу. В возрасте же 5-6 лет таких выраженных проблем не наблюдалось – 73,3% детей удерживали усвоенную ими программу, а в 6-7 лет среди дошкольников подготовительной группе 85,1% детей не делали каких-либо ошибок и лишь 2 ребенка потеряли программу.

Трудности переключения (поэлементное выполнение, отрывы и наличие горизонтальных линий для соединения элементов внизу) продемонстрировало 22,4% детей 4-5 лет, при этом 8 и более отрывов и остановок делали 74,1% детей, рисуя в среднем около 10 элементов. Эти показатели свидетельствуют о существенных трудностях в переключении с движения на движение при выполнении графомоторной деятельности. Достаточно большое количество детей (27,6%) выполняли графическую пробу с тенденцией к расширению программы через введение лишнего компонента внутри серии, а около половины (48,3%) теряли программу – уходили от образца, инертно повторяя расширенную или суженную программу. Стоит отметить, что в возрасте 5-6 лет такое выполнение встречалось не более, чем в 4,1% и 17,1% случаев соответственно, а в 6-7 лет – в 1,5% и 0,5% случаев. Как по параметру выполнения программы ($\chi^2(8)=164.240$, $p<0.0001$), так и по количеству остановок и отрывов ($\chi^2(22)=163.682$, $p<0.0001$) сравниваемые группы демонстрировали значимые различия. Также в группе детей 4-5 лет при выполнении данной пробы встречалась ошибка, которая не наблюдалась у детей более старшего возраста: многие дети не могли соединять элементы «забора», а рисовали их отдельно, делая промежутки между элементами, что отмечалось в 37,6% случаев.

Таким образом, согласно полученным данным, дети 3-4 лет не могут усвоить графически предъявленный образец, несмотря на то, что он все время находится перед глазами ребенка. Это становится возможным в 4-5 лет, но представляет сложность для ребенка. При этом демонстрация специалистом движений, необходимых для рисования элементов пробы, значительно помогала в усвоении детьми инструкций. При этом дети 3-4 лет даже при рисовании рука в руке со взрослым не смогли самостоятельно не только продолжить, но даже обвести образец. В 4-5 лет при усвоении образца особую сложность представляло удержание программы из двух чередующихся элементов.

В задании на поиск различий (проба «Найди различия») у детей 4-5 лет трудности усвоения инструкции наблюдались значительно реже, чем в предыдущей пробе: лишь 12.9% детей требовалось повторение инструкции и 9.7% совместное со взрослым выполнение. А в 3-4 года дети могли выполнять данную пробы лишь совместно со взрослым, когда специалист стимулировал следующий ответ ребенка и сам обводил выделенное различие. Как видно из рисунка 3, ошибки в этой пробе редко допускались даже детьми 3-4 лет, а вот пропуски встречались у дошкольников всех возрастных групп. Статистически достоверные различия были обнаружены при сравнении детей по продуктивности выполнения ($N=15.273$; $p=0.002$) и пропускам ($N=69.397$; $p<0.0001$). Дети 3-4 и 4-5 лет находили в среднем 6,3 различия из 9 и пропускали 2,5 и 2,4 возможных различия соответственно. В 5-6 лет продуктивность в среднем была 7,4, а в 6-7 лет – 8,1 различий из 9.

Особенности выполнения пробы "Найди различия"

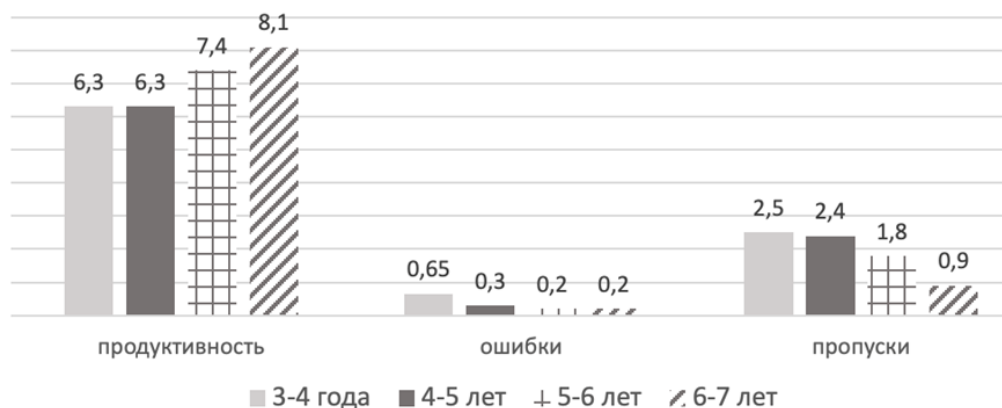


Рисунок 3. Возрастные изменения параметров выполнения пробы «Найди различия»

Таким образом, данная проба оказалась более простой для выполнения по сравнению с графомоторной, однако все дети 3-4 лет и часть детей 4-5 лет нуждалась в дополнительной стимуляции деятельности по поиску различий.

Возможности удержания внимания на монотонной задаче и переключения с одного правила на другое оценивались с помощью *корректирующей пробы* и «Шифровки», результаты выполнения которых дошкольниками представлены в таблице 2. Важно отметить, что для детей 3-4 лет указанные пробы были значительно модифицированы: в корректирующей пробе стояла задача вычеркивать 1 стимул, а не 2; а в «Шифровке» необходимо было удержать программу для двух символов, а не трех.

Таблица 2

**Средние групповые показатели выполнения
«Корректирующей пробы» и пробы «Шифровка»**

возраст	Корректирующая проба				Шифровка			
	3-4 *	4-5	5-6	6-7	3-4	4-5	5-6	6-7
ошибки	0,83	1,71	1,59	0,3	3,5	3,41	1,88	1,18
пропуски	1,39	3,06	2,05	0,83	3,5	0,15	0,45	0,22
время выполнения	101,2	223,4	136,53	106,6	362,43	345,70	195,59	187,64

Примечание: в корректирующей пробе дети 3-4 лет зачеркивали только 1 символ в отличие от детей других возрастных групп.

Сравниваемые группы значимо отличались по возможностям усвоения инструкции в корректирующей пробе ($\chi^2(9)=52.912$, $p<0.0001$): лишь половина детей 3-4 и 4-5 лет усваивала инструкцию с первого предъявления, в то время как в 5-6 лет таких детей было 82,7% , а в 6-7 лет – 84, 6%, повтор инструкции требовался части детей 3-5 лет, а некоторые нуждались и в совместном выполнении (в 3-4 года почти со всеми детьми надо было совместно выполнить анализ от 2-4 до 8 стимулов). Дети сравниваемых групп статистически достоверно различались по количеству ошибок ($N=42.257$; $p<0.0001$), пропусков ($N=45.360$; $p<0.0001$) и времени выполнения пробы ($N=123.935$; $p<0.0001$).

Трудности усвоения инструкции наблюдались у детей 3-5 лет по сравнению с 5-7 лет и в пробе «Шифровка» ($\chi^2(6)=101.867$, $p<0.0001$): лишь половина детей усваивала инструкцию с 1 раза, а 33,3% дошкольников в 3-4 года и 12.9% в 5-6 лет теряли программу в процессе выполнения. В этой пробе различия оказались значимыми для всех параметров: ошибок ($N=32.711$; $p<0.0001$), пропусков ($N=12.887$; $p=0.005$) и времени выполнения ($N=21.410$; $p<0.0001$).

Таким образом, результаты выполнения корректирующей пробы и «Шифровки» дошкольниками показали чувствительность этих проб к возможностям усвоения речевой инструкции, подкрепленной наглядной программой, а также выявили трудности, которые испытывают младшие дошкольники при выполнении этих проб.

При выполнении пробы «Лабиринты» различий в усвоении инструкции к заданию между детьми разных возрастных групп обнаружено не было.

Все дети достаточно успешно справлялись с заданиями тренировочной серии (3 лабиринта), а при выполнении основной серии (4 лабиринта) успешность детей 3-5 лет была ниже ($N=32.711$; $p<0.0001$). В отношении планирования своего следующего шага ситуация была иной: дети почти всех групп допускали много ошибок в основной серии ($N=94.424$; $p<0.0001$). В 3-4 года абсолютное число таких ошибок в основной сессии было меньше, чем у детей более старшего возраста (рисунок 4) за счет того, что они не могли выполнить половину субтестов. В тренировочной серии межгрупповые различия по этому параметру оказались статистически значимыми ($N=52.303$; $p<0.0001$).



Рисунок 4. Возрастные изменения параметров выполнения пробы «Лабиринты»

Компьютеризированные тесты

Одной из наиболее значимых для нашего исследования проб является компьютерная версия пробы «кубики Корси», позволяющая оценить эффективность зрительно-пространственной рабочей памяти (см. рисунок 5).

Дети 3-4 лет в среднем хорошо запоминали последовательность лишь из 2-х символов, дети 4-5 лет – уже последовательность из 3,4 символа при разбросе от 0 до 5 символов, в 5-6 лет – из 3,7 символа (в этой группе были дети, которые могли запомнить последовательность даже из 6 символов), в 6-7 лет – из 5,3 символа. При этом возрастные различия объема РП оказались значимыми ($N=115.964$; $p<0.0001$).

Статистически значимые различия были обнаружены и по параметрам ошибок по типу персевераций ($N=11.294$; $p=0.010$) и промахов ($N=19.785$; $p<0.0001$). Результаты выполнения данной пробы в разных возрастных группах свидетельствует о том, что при переходе от 4-5 к 5-6 годам объем

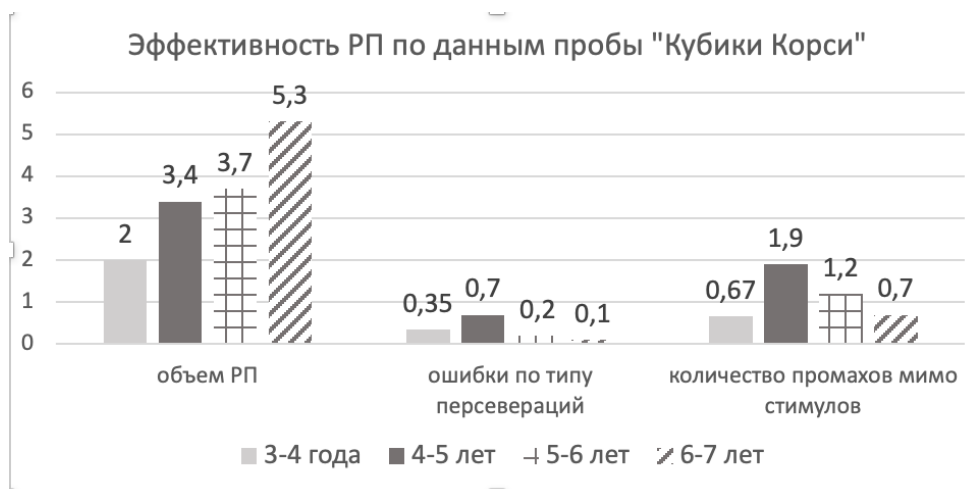


Рисунок 5. Возрастные изменения параметров выполнения пробы «Кубики Корси»

и эффективность зрительно-пространственной рабочей памяти практически не изменяется, однако дети 4-5 лет склонны к большей импульсивности, perseverациям ответа и обладают более низкими возможностями зрительно-моторных координаций. Также очень важно отметить, что эта проба была модифицирована для детей 4-5 лет. Пилотное исследование показало, что дети не понимают инструкцию, поэтому перед выполнением задания была введена тренировочная серия, после выполнения которой эффективность деятельности детей 4-5 лет резко возростала. В то же время заметный рост объема РП происходит при переходе от 3-4 к 4-5 годам и от 5-6 к 6-7 годам, что отражает возрастные закономерности в развитии РП.

Для оценки возможностей длительного удержания внимания в условиях монотонной задачи детям в дополнении к бланковым методикам предъявлялась компьютерная версия *корректирующей пробы* в виде двух таблиц, в первой из которых необходимо было вычеркнуть 1 стимул, а во 2-й – 2 стимула. К сожалению, сравнить группы детей 3-5 лет и 5-6 лет по большинству параметров выполнению этой пробы не представляется возможным, т.к. «пилотное» исследование показало, что дети от 3-х до 5-ти лет не справляются с таблицей из 192 фигур, очень быстро пресыщаются и не попадают в нужные стимулы. Поэтому для них проба была модифицирована: стимулы увеличены в размерах, а их количество сокращено до 48. В связи с этим можно сравнить отдельно группы детей 3-4 и 4-5 лет, и группы детей 5-6 и 6-7 лет.

Дети 3-4 и 4-5 лет в таком варианте пробы допускали крайне мало ошибок и пропусков, при этом статистически значимые различия между возрастными группами удалось обнаружить лишь по параметру количества

ошибок во 2 серии, где было необходимо удерживать программу по вычеркиванию сразу двух стимулов ($U=1242.500$, $p=0.020$). По количеству правильных ответов младшие дошкольники 3-4 и 4-5 лет статистически значимо не различались.

При сравнении возрастных групп 5-6 и 6-7 лет статистически достоверные различия были обнаружены по параметрам количества правильных ответов в 1-ой ($U=1152.000$, $p<0.0001$) и 2-ой ($U=1335.500$, $p=0.001$) таблицах.

Статистически значимые различия между группами были также обнаружены по показателю количества ошибок в первой таблице ($U=1770.000$, $p=0.002$), пропусков в первой ($U=1152.000$, $p<0.0001$) и второй ($U=1335.000$, $p=0.001$) таблицах. Интересно, что выполнение первой таблицы с задачей вычеркивать один определенный стимул оказалось более чувствительным к возрастным особенностям детей при оценке как параметра продуктивности, так и ошибки, в то время как в задании с переключением хоть и были обнаружены различия между группами в продуктивности и пропусках, по количеству ошибок группы не различались. Отметим, что задания на удержание внимания в условиях монотонной деятельности дошкольникам всех возрастных групп давались тяжело.

Тест «Точки» для детей от 3-х до 5-ти лет также пришлось модифицировать, увеличив время экспозиции стимулов. Кроме того, важно добавить, что абсолютному большинству детей двух младших возрастных групп третья смешанная серия была недоступна, что свидетельствует о несформированности способности к переключению с программы на программу в возрасте от 3-х до 5-ти лет.

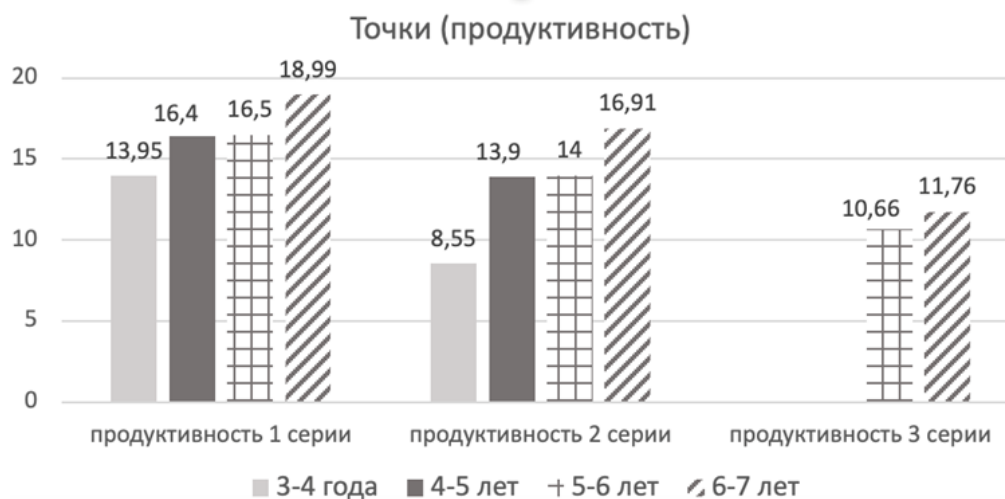


Рисунок 6. Возрастные изменения параметров выполнения пробы «Точки»

Результаты выполнения пробы демонстрируют значимые различия в продуктивности при предъявлении первых двух серий – с конгруэнтной ($N=11.294$; $p<0.0001$) и неконгруэнтной ($N=11.294$; $p<0.0001$) задачей при сравнении всех возрастных групп (см. рисунок б). В то же время попарные межгрупповые различия по параметрам продуктивности и ошибок между 4-5 и 5-6 годами не были статически значимыми, что позволяет предположить наличие способности к удержанию нужной и подавлению нерелевантных действий уже у детей 4-5 лет. В то же время между группами 3-4 и 4-5 лет различия оказались значимыми по продуктивности выполнения первой ($U=728.500$, $p<0.0001$) и второй серии ($U=483.000$, $p<0.0001$), а также по допущенным ошибкам в первой ($U=741.000$, $p<0.0001$) и второй серии ($U=464.500$, $p<0.0001$). Значимые различия были обнаружены и при сравнении 5-6 и 6-7 лет по выполнению первых двух серий – с конгруэнтной ($U=1120.500$, $p<0.0001$ для продуктивности, $U=1513.000$, $p=0.016$ для ошибок) и неконгруэнтной задачей ($U=1041.000$, $p<0.0001$ для продуктивности, $U=1347.500$, $p=0.003$ для ошибок). Эти данные говорят о том, что при переходе к дошкольному возрасту увеличиваются возможности детей удерживать простую программу и подавлять нерелевантный заданию ответ. Однако статистически достоверных различий в выполнении третьей серии, предполагающей переключение между двумя параллельными программами, не отмечается, что может говорить о недостаточной сформированности данного компонента управляющих функций даже в старшем дошкольном возрасте.

Возрастные изменения интегральных нейropsихологических индексов состояния управляющих функций

На основании анализа результатов, полученных в отдельных пробах (см. результаты выше) и согласно классификации компонентов УФ, предложенной в работе [10] были сформированы комплексные показатели (индексы) трудностей реализации следующих компонентов УФ: усвоения алгоритмов деятельности (I), создания стратегии деятельности (II), преодоления непосредственных реакций (III), своевременного прекращения начавшегося действия и переключения с одного действия на другое (IV), переключения с одного способа действий на другой, с программы на программу (V), устойчивого поддержания усвоенной программы (VI), контроля за выполнением собственных действий (VII). Индексы I и II объединялись в интегральный показатель, отражающий несформированность функций программирования деятельности (VIII), а компоненты III-VI – в интегральный показатель, отражающий трудности избирательной регуляции (IX). Также вычислялся общий показатель дефицита произвольной регуляции деятельности (X) как среднее первых 6-ти индексов.

В показатель «*трудности усвоения алгоритма деятельности*» (I) входили такие параметры оценки нейропсихологических проб, как трудности усвоения инструкции в пробах «графическая проба» «нахождение различий», «корректирующая проба», «шифровка».

В показателе «*трудности создания стратегии деятельности*» (II) учитывались трудности планирования при выполнении задания «лабиринты», выражающиеся в ошибках выбранного направления.

Показатель «*трудности преодоления непосредственных реакций*» (III) включал в себя наличие проявлений импульсивности в поведении на протяжении всего обследования.

Оценка *трудностей переключения с одного действия на другое* (IV) зависела от наличия возможности переключаться с элементами на элемент при выполнении «графической пробы», скорости рисования одной пачки (2 элемента) в этой пробе, количества остановок, а также ошибок выполнения (вместо того, чтобы подчеркнуть, зачеркивает стимул и наоборот) в корректирующей пробе, ошибок в отображении структуры точек в пробе «шифровка».

Показатель «*трудности переключения с программы на программу*» (V), основывался на следующих особенностях выполнения отдельных проб: пропусках в пробе «нахождение различий», количестве ошибок в корректирующей пробе и в «шифровке».

В показатель «*трудности устойчивого поддержания усвоенной программы*» (VI) входили ошибки, связанные с переходом на стереотипную деятельность, трудности следования программе в «графической пробе», пропуски стимулов в «корректирующей пробе», «шифровке».

Наконец, трудности *контроля* (VII) отмечались в пробах «корректирующая проба», «шифровка».

Все параметры оценки проб, вошедшие в интегральные показатели дефицита тех или иных компонентов, представляют собой систему штрафных баллов, как уже отмечалось выше. То есть все шкалы, по которым выставлялись оценки, формировались таким образом, чтобы минимальная оценка соответствовала наилучшему выполнению, а максимальная оценка – худшему.

Для нивелирования разницы между оценками разных проб и выравнивания вклада разных проб на интегральные показатели использовался метод линейного преобразования данных таким образом, чтобы оценка каждой пробы в части, входящей в какой-либо интегральный показатель, изменялась в пределах от 0 до 1, то есть оценку *i*-го испытуемого уменьшали на минимальное значение и получившийся результат делили на максимальное значение по выборке.

Возрастные изменения интегральных
нейропсихологических индексов дефицита УФ

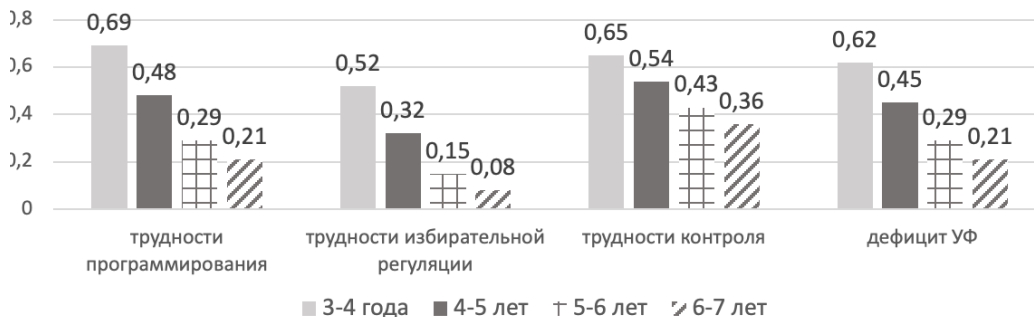


Рисунок 7. Возрастные изменения интегральных нейропсихологических показателей несформированности различных компонентов УФ

Как показано на рисунке 7, выраженность дефицитов как интегрального показателя, так и его составляющих снижается с возрастом. В течение дошкольного периода развития у детей формируются способности усваивать алгоритмы деятельности, удерживать их в ходе ее выполнения и контролировать результаты своей деятельности. При этом наблюдаются существенные прогрессивные изменения в развитии возможностей понимания инструкций, предъявленных как в вербальной форме (иногда с графической подсказкой), так и в виде графического образца ($U=437.500$, $p<0.001$ при сравнении детей 3-4 и 4-5 лет, $U=2697.500$, $p<0.001$ при сравнении детей 4-5 и 5-6 лет и $U=9731.500$, $p<0.0001$ при сравнении детей 5-6 и 6-7 лет). А вот по возможностям создания стратегий деятельности статистически значимые возрастные изменения отмечаются только при сравнении детей младшей возрастной группы с детьми предшкольного возраста ($U=9247.000$, $ps<0.0001$). Относительно более длительный период формирования этого компонента УФ по сравнению с усвоением инструкции согласуется с выявленным в работе [5] длительным формированием способности к выстраиванию последовательности действий при когнитивном планировании у детей от 3-х до 6 лет.

При анализе эффективности отдельных показателей избирательной регуляции деятельности выявлены следующие возрастные изменения: способность подавления непосредственных реакций значимо возрастает между 3-4 и 5-6 годами ($U=9295.000$, $p=0.003$), а затем к 6-7 годам ($U=9232.500$, $p=0.041$). Детям 3-4 лет также сложнее переключаться с одного действия на другое ($U=1356.000$, $p<0.001$). Заметные трудности наблюдаются и в отношении переключения с одного способа действий на другой, с одной программы на другую ($U=3285.500$, $p=0.002$), а также в устойчивом под-

держании усвоенной программы ($U=1756.500$, $p<0.001$). В среднем по параметрам избирательной регуляции мы обнаружили улучшение в 1,5-2 раза при переходе от каждого возраста к последующему. Интенсивное формирование способности к избирательной регуляции деятельности у детей после 4-х лет согласуется с созреванием мозговой системы когнитивного контроля [24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительное качественное и количественное нейропсихологическое исследование детей дошкольного возраста от 3-х до 7 лет выявило существенный рост эффективности управляющих функций. Особенно это заметно в отношении возможностей усвоения инструкций и алгоритмов деятельности, а также возможностей переключения, в частности, при графомоторной деятельности. В целом, как в индивидуальных, так и во фронтальных режимах обследования младшим дошкольникам приходилось часто повторять инструкцию, демонстрировать ее (в случае моторной программы) или даже включать этап тренировки перед непосредственным выполнением задания. Такое привлечение к цели на этапе подготовки к заданию способствовало повышению эффективности деятельности детей от 3-х до 5-ти лет, что можно использовать в качестве корректирующей или развивающей процедуры при выполнении различных заданий в этом возрасте. При этом способность самостоятельного создания стратегий деятельности у дошкольников остается значительно незрелой, развитие данного компонента становится заметным лишь при переходе к предшкольному возрасту.

Исследование избирательной регуляции также выявило существенный прогресс по отдельным показателям. При этом в двух младших возрастных группах выявлены трудности подавления непосредственных реакций, мало регулируемая даже извне импульсивность, трудности переключения от одного элемента программы к другому, особенно в графомоторной деятельности, инертность при необходимости смены алгоритма деятельности и трудности самостоятельного устойчивого поддержания усвоенной программы. Все это свидетельствует, с одной стороны, о нецелесообразности целенаправленного обучения детей младшего и среднего дошкольного возраста навыкам чтения и письма, а с другой стороны, о необходимости формирования тех компонентов УФ, которые необходимы для формирования этих навыков – способности удержания программы из нескольких элементов и способности к планированию последовательности собственных действий.

Интересно, что объем и эффективность рабочей памяти значимо возрастают при переходе от 3-4 к 4-5 годам и от 5-6 к 6-7, при этом отсутствие разли-

чий при сравнении групп 4-5 и 5-6 лет скорее обусловлено специально организованной процедурой обследования средних дошкольников (наличии тренировочной серии, организации внимания через дополнительную инструкцию).

Отдельно стоит остановиться на результатах исследования различных компонентов УФ и внимания в возрасте 3-4 лет. В этом возрасте помимо общих тенденций в виде трудностей усвоения инструкций (всем детям требовалось совместное выполнение тренировочных серий в каждом из заданий), сложностей удержания программы в условиях монотонной деятельности (дети очень быстро пресыщались из-за большого количества стимулов, с которыми требовалось производить определенные действия), трудностей переключения с одного алгоритма действий на другой и отсутствия контроля за своей деятельностью, отмечались более выраженные, чем в других возрастах индивидуальные различия в выполнении отдельных проб. Так, часть детей вообще не усваивали инструкцию к заданию пробы «Шифровка» даже после длительного совместного выполнения, а некоторые дети быстро усваивали алгоритм и удерживали его до конца пробы, выполняя ее в быстром темпе и не допуская ошибок. Полученные данные указывают на важность развивающих занятий на основе совместной деятельности ребенка и взрослого в младшем дошкольном возрасте.

Информация о финансовой поддержке: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом ФГБНУ «ИРЗАР», Москва.

Информированное согласие. Родители каждого участника исследования представили добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахутина Т. В., Кремлёв А. Е., Корнеев А. А., Матвеева Е. Ю., Гусев А. Н. 2017. Разработка компьютерных методик нейропсихологического обследования. // Когнитивная наука в Москве: новые исследования/ Под

ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман. – М.: ООО «Буки Веди», ИППиП, 2017. – С. 486–490.

2. Ахутина Т.В., Пылаева Н.М. Преодоление трудностей учения: нейропсихологический подход. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.

3. Захарова М.Н., Мачинская Р.И., Агрис А.Р. Управляющие функции мозга и готовность к систематическому обучению у старших дошкольников // Культурно-историческая психология. – 2022. – Т. 18. № 3. – С. 81-91.

4. Корсакова Н.К., Микадзе Ю.В., Балашова Е.Ю. Неуспевающие дети: нейропсихологическая диагностика трудностей в обучении младших школьников. – М.: Педагогическое общество России, 2001. – 160 с.

5. Курганский А.В., Захарова М.Н., Каюмоы Д.Д., Антонова С.Ю., Софьина Е.П. Экспериментальная оценка некоторых способностей, лежащих в основе когнитивного планирования у дошкольников 3-6 лет//Новые исследования. – 2022. – №70(2). – С.7-19

6. Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга и их морфофункциональное созревание у детей // Мозговые механизмы формирования познавательной деятельности в дошкольном и младшем школьном возрасте / под ред. Р. И. Мачинской, Д. А. Фарбер. – М.: НОУ ВПО «МПСУ»; Воронеж: МОДЭК, 2014. – 440 с.

7. Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга. // Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. – 2015. – Т.65, №1 – С.33-60.

8. Методы нейропсихологического обследования детей 6-9 лет/ под ред. Ахутиной Т.В. – М.: Изд-во В.Секачев, 2016. – 280 с.

9. Семенова О.А., Кошельков Д.А. Особенности произвольной регуляции деятельности у детей 5-6 лет с признаками дефицита внимания и гиперактивности // Новые исследования. – 2008. – Т. 17, № 4. – С. 21-38.

10. 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. – Т.3, №4. – С.39-49.

11. Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. Verbal and Visuospatial Short-Term and Working Memory in Children: Are They Separable? Child Development. – 2006. – V.77, No 6. – P. 1698-1716. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x>

12. Anderson, V., Levin H. S., Jacobs R. Executive functions after frontal lobe injury: A developmental perspective // Principles of frontal lobe function / ed. by D. T. Stuss, R. T. Knight. – Oxford University Press, 2002. – P. 504-527.

13. Brocki, K.C., Bohlin G. Executive functions in children aged 6 to 13: a dimensional and developmental study // *Dev. Neuropsychol.* – 2004. – Vol. 26, No 2. – P. 571-593.

14. Bull R., Espy K.A., Wiebe S.A. Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years // *Dev Neuropsychol.* – 2008. – Vol. 33, No 3. – P. 205-228.

15. Diamond A. Executive functions. *Annual review of psychology.* – 2013. – V. 64. – P. 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750.

16. Diamond A., Taylor C. Development of an aspect of executive control: development of the abilities to remember what I said and to «do as I say, not as I do» // *Dev. Psychobiol.* – 1996. – Vol. 29, No 4. – P. 315-334.

17. Huizinga M., Dolan C. V., Molen M. W. Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis // *Neuropsychologia.* – 2006. – Vol. 44. – P. 2017-2036.

18. Kharitonova M., Munakata Y. The role of representations in executive function: Investigating a developmental link between flexibility and abstraction // *Frontiers in Psychology.* – 2011. – Vol. 2. – P. 347.

19. Korucu I, Ayurk E, Finders JK, Schnur G, Bailey CS, Tominey SL, Schmitt SA. Self-Regulation in Preschool: Examining Its Factor Structure and Associations With Pre-academic Skills and Social-Emotional Competence//*Front Psychol.* -2022 – V.12. – art.717317. doi: 10.3389/fpsyg.2021.717317

20. Luna B., Padmanabhan A., O’Hearn K. What has fMRI told us about the development of cognitive control through adolescence? // *Brain Cogn.* – 2010. – Vol. 72, No 1. – P. 101-113.

21. Miyake A, Friedman N.P, Emerson M.J, Witzki A.H, Howerter A, Wager T.D. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis // *Cogn. Psychol.* – 2000. – Vol. 41, No 1. – P.49-100. doi: 10.1006/cogp.1999.0734.

22. Nigg, J. T. On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy // *Psychol. Bull.* – 2000. – Vol. 126, No 2. – P. 220-246.

23. Roca M, Parr A, Thompson R, Woolgar A, Torralva T, Antoun N, Manes F, Duncan J. Executive function and fluid intelligence after frontal lobe lesions// *Brain.* – 2010. – V. 133, No 1. – P. 234-247. doi: 10.1093/brain/awp269.

24. Rothbart, M. K., Sheese, B. E., and Posner, M. I. Executive attention and effortful control: linking temperament, brain networks, and genes//*Child Dev. Perspect.* – 2007. – V. 1. P. 2–7. doi: 10.1111/j.1750-8606.2007.00002

25. Rueda M.R., Fan J., McCandliss B.D., Halparin J.D., Gruber D.B., Lercari L.P., Posner M.I. Development of Attentional Networks in Childhood // *Neuropsychologia*. – 2004. – Vol. 42. – P. 1029-1040.

26. Stuss D.T., Alexander M.P. Executive functions and the frontal lobe: f conceptual vew // *Psychological Research*. – 2000. – Vol.63. – P. 289-298.

27. Zakharova M.N., Machinskaya R.I. Voluntary control of cognitive activity in preschool children; age-dependent changes from ages 3-4 to 4-5//*Psychology in Russia: State of the Art*. – 2023.- T. 16. № 3. – С. 122-131.

REFERENCES

1. Ahutina T. V., Kremlyov A. E., Korneev A. A., Matveeva E. Yu., Gusev A. N. 2017. Razrabotka komp'yuternyh metodik nejropsihologicheskogo obsledovaniya. // *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya/ Pod red. E.V. Pechenkovej, M.V. Falikman*. – M.: ООО «Buki Vedi», IPPiP, 2017. – S. 486–490.

2. Ahutina T.V., Pylaeva N.M. Preodolenie trudnostej ucheniya: nejropsihologicheskij podhod. – SPb.: Piter, 2008. – 320 s.

3. Zaharova M.N., Machinskaya R.I., Agris A.R. Upravlyayushchie funkicii mozga i gotovnost' k sistematicheskomu obucheniyu u starshih doshkol'nikov // *Kul'turno-istoricheskaya psihologiya*. – 2022. – T. 18. № 3. – S. 81-91.

4. Korsakova N.K., Mikadze Yu.V., Balashova E.Yu. Neuspevayushchie deti: nejropsihologicheskaya diagnostika trudnostej v obuchenii mladshih shkol'nikov. – M.: Pedagogicheskoe obshchestvo Rossii, 2001. – 160 s.

5. Kurganskij A.V., Zaharova M.N., Kayumoy D.D., Antonova S.Yu., Sof'ina E.P. Eksperimental'naya ocenka nekotoryh sposobnostej, lezhashchih v osnove kognitivnogo planirovaniya u doshkol'nikov 3-6 let//*Novye issledovaniya*. – 2022. – №70(2). – S.7-19

6. Machinskaya R.I. Upravlyayushchie sistemy mozga i ih morfofunkcional'noe sozrevanie u detej // *Mozgovye mekhanizmy formirovaniya poznavatel'noj deyatel'nosti v predshkol'nom i mladshem shkol'nom vozraste / pod red. R. I. Machinskoj, D. A. Farber*. – M.: NOU VPO «MPSU»; Voronezh: MODEK, 2014. – 440 s.

7. Machinskaya R.I. Upravlyayushchie sistemy mozga. // *Zhurn. vyssh. nervn. deyat. im. I.P. Pavlova*. – 2015. – T.65, №1 – S.33-60.

8. Metody nejropsihologicheskogo obsledovaniya detej 6-9 let/ pod red. Ahutinoj T.V. – M.: Izd-vo V.Sekachev, 2016. – 280 s.

9. Semenova O.A., Koshel'kov D.A. Osobennosti proizvol'noj regulyacii deyatel'nosti u detej 5-6 let s priznakami deficita vnimaniya i giperaktivnosti // *Novye issledovaniya*. – 2008. – T. 17, No 4. – S. 21-38.

10. Semenova O.A., Koshel'kov D.A., Machinskaya R.I. Vozrastnye izmeneniya proizvol'noj regulyacii deyatelnosti v starshem doskol'nom i mladshem shkol'nom vozraste // Kul'turno-istoricheskaya psihologiya. – 2007. – Т.3, №4. – S.39-49.