

Захарова М.Н.¹, Мачинская Р.И.¹ Возрастные изменения управляющих функций у детей 6-7 лет

Zakharova M.N.¹, Machinskaya R.I.¹ The development of executive functions in children aged 6-7 years

¹ Институт возрастной физиологии Российской академии образования, Москва, Россия

Проведено нейропсихологическое исследование возрастных преобразований различных компонентов произвольной регуляции деятельности – управляющих функций (УФ) и избирательного внимания у детей трех последовательных возрастных групп: 6-6,5 лет (n = 28), 6,5-7 лет (n = 69) и 7-7,5 лет (n = 33). Обнаружена неравномерность в развитии отдельных компонентов УФ в дошкольном возрасте – интенсивное развитие функций программирования и избирательной регуляции при относительной незрелости самоконтроля. У младших детей отмечается более низкий уровень развития УФ в целом, при этом наиболее выраженные возрастные различия касаются способности усвоения инструкций и выработки алгоритмов, а также возможностей переключения как между отдельными действиями, так и между алгоритмами деятельности.

Ключевые слова: управляющие функции, произвольная регуляция когнитивной деятельности, рабочая память, внимание, дошкольный возраст, нейропсихология.

Введение

Готовность ребенка к систематическому обучению во многом определяется совершенствованием функций программирования, избирательной регуляции и самоконтроля – управляющими функциями мозга (УФ), которые обеспечивают процессы регуляции и организации целенаправленной деятельности [Лобные доли и регуляция..., 1966; Diamond, 2002]. УФ формируются в течение длительного периода, однако многими исследователями подчеркивается, что именно в дошкольном возрасте наблюдается их бурное развитие [Garon et al., 2008], которое отражается в совершенствовании произвольной регуляции когнитивных процессов и поведения.

Развитие УФ определяется как формированием сложного комплекса мозговых систем, являющихся нейрофизиологической базой этого процесса [Мачинская, 2015], так и социальным опытом, который предоставляет возможности для усвоения различных способов саморегуляции и их закрепления. В процессе индивидуального развития эти два фактора – морфофункциональное созревание мозга, в первую очередь длительное созревание лобных отделов коры, и социальный опыт, включая обучение, постоянно взаимодействуют между собой, что необходимо учитывать при диагностике УФ и разработке методов их развития и/или коррекции [Ахутина, Пылаева, 2008].

В нашем исследовании дети отличались друг от друга своим хронологическим возрастом (от 6 до 7,5 лет), при этом все они посещали подготовительные группы дошкольных учреждений, что позволило проанализировать влияние биологического возраста на формирование УФ на фоне сходных условий обучения.

Старший дошкольный возраст является особым периодом детства, в котором изменяются отношения между ребенком и взрослыми. Взрослые предъявляют все больше требований к возможностям ребенка регулировать свое поведение, особое значение приобретают понятия «хорошо» и «плохо», «можно» и «нельзя». Значимыми для ребенка становятся установление и сохранение взаимоотношений с другими детьми и взрослыми; у него развиваются и приобретают иерархическую организацию познавательные, общественные, нравственные, соревновательные и многие другие мотивы [Шаповаленко, 2005]. Изменение характера и структуры мотивационной регуляции деятельности свидетельствует о качественном скачке в развитии способности управлять собственным поведением.

Совершенствование УФ происходит и в рамках ведущей деятельности – сюжетно-ролевой

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... игры, в которой ребенок способен длительно удерживать внимание на различных аспектах разыгрываемых им действий, а также на объектах, включенных в игровой сюжет [Эльконин, 1999].

Постепенно развиваются неигровые виды деятельности: дети могут выполнять задания, сидя длительное время за столом, усваивают инструкции взрослого к предложенным заданиям, пытаются выполнить задание тщательно и довести его до конца. Уже в возрасте 5 лет отмечается не просто способность выполнять действия по инструкции взрослого, но и возможности выполнять программы, включающие в себя несколько действий, которые могут как чередоваться (например, графическая проба), так и выстраиваться в более сложную последовательность, как в пробе на динамический праксис [Лурия, 1979]. Первый компонент – возможность усваивать инструкции взрослого и предложенные алгоритмы деятельности – демонстрирует наиболее выраженные положительные возрастные изменения при переходе от 5-6 к 6-7 годам [Семенова и др., 2007]. Второй компонент отчасти связан с возможностями рабочей памяти (РП) – когнитивной операции, обеспечивающей временное хранение и манипулирование информацией, необходимой для реализации целенаправленного поведения [Baddeley, 2000]. При исследовании развития этого компонента у детей 3-7 лет было обнаружено увеличение с возрастом точности и скорости ответа в задачах, требующих участия РП [Perlman et al., 2016], но более выраженные прогрессивные изменения эффективности и увеличение объема РП отмечаются позже – в младшем школьном возрасте (9-10 лет) [Alloway, 2013].

Для обеспечения когнитивной деятельности оказывается важна способность длительно поддерживать избирательное внимание на материале, относящемся к выполняемой задаче, и подавлять обработку информации, которая к задаче не относится [Shipstead et al., 2012]. В исследованиях различных форм внимания было обнаружено, что в дошкольном возрасте увеличивается продолжительность фокусировки внимания, контроль внимания и сопротивляемость отвлечению [Diamond, 2013]. Согласно данным нейропсихологических исследований, различные компоненты УФ формируются в дошкольном возрасте гетерохронно. Так, наряду с отмеченными выше прогрессивными изменениями различных компонентов внимания, дети 5-7 лет демонстрируют возрастную незрелость процессов переключения и трудности контроля за выполнением собственных действий [Семенова, Кошельков, 2008], а существенный рост эффективности произвольного зрительного внимания в условиях, требующих подавления влияния нерелевантной информации (конфликтные тесты), происходит только к 7 годам [Rueda et al., 2004].

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...

Формирование УФ играет важную роль в усвоении школьных знаний, в регуляции социального поведения и контроле аффективных реакций. Уровень развития УФ в дошкольном возрасте оказывается прогностическим признаком успешности обучения по целому ряду дисциплин у младших школьников и подростков [Alloway, 2010; Blair, Razza, 2007; Bull et al., 2008] и даже предсказывает развитие социального интеллекта и нравственных форм поведения [Riggs et al., 2006]. И это неудивительно, поскольку дисциплинированность, эффективное планирование своей деятельности, способность длительно поддерживать внимание на определенной задаче, своевременно переключаться с задачи на задачу, контролировать собственную деятельность и ее результаты, безусловно, влияют на успешность практически любой деятельности.

В наших предыдущих исследованиях [Мозговые механизмы..., 2014, Захарова и др., 2021] были выявлены качественные прогрессивные изменения мозговой основы и эффективности произвольной регуляции деятельности у детей при переходе от 5-6 к 7-8 годам. Учитывая показанную в нейropsychологических исследованиях неравномерность формирования когнитивных процессов, мы предположили, что оценка различных компонентов УФ позволит выявить особенности траекторий их развития в диапазоне от 6 до 7,5 лет и определить возраст наиболее существенных прогрессивных изменений большинства компонентов УФ, создающих благоприятные условия для начала систематического обучения. В соответствии с гипотезой цель исследования состояла в детальном изучении возрастных преобразований отдельных компонентов УФ, внимания и РП в период от 6 до 7,5 лет.

Процедура и методика исследования

В исследовании приняли участие 130 дошкольников трех возрастных групп: группа 1 – дети от 6 лет до 6 лет 6 м. (n = 28, 14 мальчиков), группа 2 – от 6 лет 7 м. до 6 лет 11 м. (n = 69, 36 мальчиков), группа 3 – от 7 лет до 7 лет 6 м. (n = 33, 15 мальчиков).

Для оценки сформированности УФ использовались процедуры фронтального и индивидуального исследования. Фронтальное исследование включало в себя следующие тесты:

- *Реакция выбора*: проба направлена на анализ возможности следования речевой инструкции, отторгивания непосредственных привычных реакций, переключения как с одного действия на другое, так и с программы на программу. В ходе этой пробы ребенок должен осуществить определенные действия в ответ на один из двух условных сигналов специалиста

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
либо затормозить выработанную ранее реакцию.

- *Графомоторная проба* направлена на исследование возможности усвоения двигательной программы при графическом предъявлении образца, плавного переключения с одного элемента программы на другой, автоматизации двигательной серии. Ребенку предъявляется графический образец из двух чередующихся элементов с задачей продолжить рисовать предложенную последовательность.

- *Нахождение различий*: проба направлена на оценку способностей анализа изображений, распределения внимания и его переключения с одного изображения на другое.

- *Корректурная проба* позволяет оценить способность удержания внимания на монотонной задаче и переключения с одного правила на другое.

- *Зоопарк*: проба позволяет оценить пространственную РП, т.е. способность запоминать и затем правильно воспроизводить местоположение объекта в пространстве.

- *Следование по маршруту*: проба направлена на анализ возможности удержания программы, произвольного внимания, планирования следующего действия, оттормаживания непосредственных реакций. В неструктурированном поле с изображениями 15 цветков ребенку необходимо последовательно соединить только те изображения, которые пронумерованы в порядке от 1 до 10.

- *Лабиринты*: проба направлена на анализ возможности создания стратегии деятельности (выхода из лабиринта) и ее реализации, оттормаживания непосредственных реакций.

- *Шифровка*: проба позволяет оценить возможности произвольного внимания, включая его избирательность, возможности переключения и длительного удержания.

- *Копирование трехмерного изображения* (рисунок «дом, дерево, забор»): проба позволяет оценить возможности планирования и создания определенных стратегий копирования с опорой на аналитические и целостные компоненты восприятия.

Часть тестов была взята из методики традиционного нейропсихологического обследования детей [Методы нейропсихологического..., 2016], часть используется при групповой нейропсихологической диагностике [Ахутина и др., 2014], а часть была разработана

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... специально для данного исследования. Фронтальная диагностика проводилась одним педагогом в группе, численностью не более 12-ти человек, с участием 2-3 ассистентов, которые помогали детям с трудностями усвоения инструкций и фиксировали различные поведенческие проявления в виде импульсивности или эмоциональных реакций, неадекватных ситуации обследования.

Индивидуальное исследование включало 5 компьютеризированных методик из батареи тестов «Практика-МГУ» [Ахутина и др., 2017], предъявляемых на сенсорном экране планшета, и 2 методики, традиционно используемые в оценке речевых функций:

- *Корректурная проба* направлена на оценку возможностей удержания внимания на монотонной задаче (серия 1) и переключения с одной инструкции на другую (серия 2). В каждой серии ребенку предъявляется таблица 16x12, элементами которой являются шесть различных геометрических фигур. В серии 1 ребенка просят найти и отметить все фигуры одного типа – круги, в серии 2 – двух типов (круги и звездочки).

- Тест *Двухцветные таблицы Шульте-Горбова* состоит из пяти субтестов, в каждом из которых предъявляется таблица 5x4, элементами которой являются числа от 1 до 10 двух цветов (черного и красного), расположенные в таблице в случайном порядке. Ребенок должен найти и указывать числа последовательно в прямом или обратном порядке. Набор заданий позволяет оценить способность детей усваивать простую (1 и 2 таблицы – прямой порядок чисел от 1 до 10 одного из цветов), более сложную обратную (3 и 5 таблицы – обратный порядок чисел от 10 до 1 одного из цветов) и самую сложную «параллельную» (4 таблица – прямой порядок чисел от 1 до 10 для двух цветов) программы, переключаться с одной программы на другую, отторгивать неадекватные ответы.

- *Руки-ноги-голова*: адаптированная для детей процедура one-back-task, применяется для оценки развития РП, способности к концентрации внимания. В этом задании ребенок должен слушать последовательно подаваемые команды («руки», «ноги» или «голова») и показывать с помощью тачскрина ту часть тела, которая была названа на предыдущем шаге.

- *Кубики Корси*: методика направлена на оценку зрительно-пространственной РП. В разных местах экрана в определенной последовательности по очереди подсвечиваются изображения кубиков (от 2 до 9). Задача ребенка – запомнить и затем воспроизвести эту последовательность (при правильном ответе длина эталонной последовательности в

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... следующей пробе увеличивается). Проба прекращается в случае трех ошибочных ответов или после правильного воспроизведения последовательности из 9 элементов.

- Тест *Точки* представляет собой модифицированную методику *The Dots task* [Davidson et al., 2006; Diamond, 2013], состоящую из трех субтестов, в каждом из которых предъявляется по 20 стимулов. В субтесте 1 ребенку дается задание нажимать на ответную кнопку с той же стороны, где появится изображение, в субтесте 2 – нажимать кнопку на противоположной от изображения стороне. Субтест 1 позволяет оценить способность следования инструкции и скорость реакции, субтест 2 – способность к отторжению непосредственной реакции. В субтесте 3 необходимо переключаться между двумя конкурирующими программами (совмещение первых двух субтестов).

- *Составление рассказа по серии сюжетных картинок «Кошка и кактус»*: на основании анализа рассказа ребенка оцениваются следующие компоненты выполнения задания: понимание смысла серии картинок (ориентировка в ситуации), полнота передачи содержания картинок, построение программы речевого высказывания с использованием основных смысловых единиц в правильной последовательности и с наличием связующих звеньев, а также использование грамматических и лексических средств.

- *Запоминание двух групп по три слова*: проба позволяет оценить продуктивность произвольного (без мнестической задачи) и произвольного запоминания, способность удержания и правильного воспроизведения порядка элементов.

По результатам выполнения нейропсихологических проб в соответствии со схемой, предложенной О.А. Семеновой [Семенова и др., 2015], оценивались индивидуальные особенности (наличие/отсутствие трудностей реализации) отдельных компонентов УФ. Оценки данных компонентов объединялись в три интегральных показателя, отражающих дефицит функций программирования (включает «усвоение новых алгоритмов» и «создание стратегии деятельности»), избирательной регуляции (включает «преодоление непосредственных реакций», «переключение с одного действия на другое», «переключение с программы на программу» и «устойчивое поддержание усвоенной программы») и контроля, а также общий показатель дефицита произвольной регуляции (среднее коэффициентов дефицитов компонентов программирования, избирательной регуляции и контроля).

Все параметры оценки проб, вошедшие в интегральные показатели несформированности тех

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... или иных компонентов, представляют собой систему штрафных баллов: минимальная оценка соответствует наилучшему выполнению, а максимальная – наихудшему. При обработке данных использовался пакет статистических программ SPSS 28.0. Для оценки значимости возрастных изменений анализируемых нейропсихологических показателей применялись следующие статистические критерии: Краскела-Уоллиса (H), Манна-Уитни (U), Вилкоксона (W), хи-квадрат (χ^2).

Результаты

Функции программирования, избирательной регуляции и контроля

Возрастные изменения эффективности УФ в трех анализируемых группах детей демонстрируются на рис. 1. Видно, что эти показатели снижаются с возрастом, что отражает прогрессивное формирование произвольной регуляции и организации деятельности.

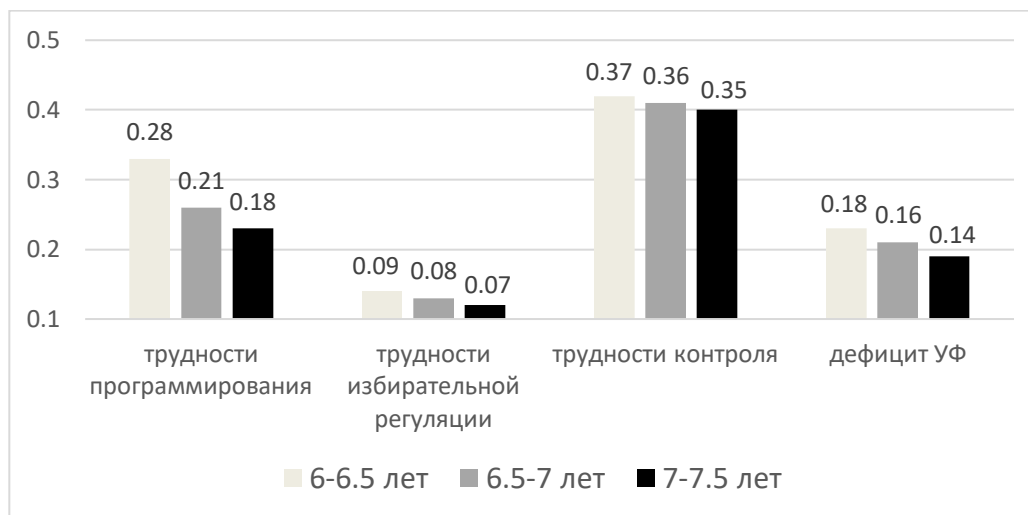


Рис. 1. Возрастные изменения интегральных нейропсихологических индексов дефицита УФ.

Межгрупповое сравнение обнаружило значимые различия между всеми тремя группами лишь по показателю трудностей программирования ($H = 9,789$, $p = 0,054$) и тенденцию к различиям по интегральному показателю дефицита УФ ($H = 5,157$, $p = 0,076$). При попарном сравнении были обнаружены различия между младшей и двумя другими возрастными группами по интегральному показателю дефицита УФ ($U = 684,000$, $p = 0,054$ и $U = 278,000$, $p = 0,029$ соответственно), а также входящего в его состав показателя трудностей программирования ($U = 606,000$, $p = 0,010$ и $U = 233,500$, $p = 0,004$ соответственно). С учетом поправки Бонферрони значимые различия для парных сравнений сохраняются только в отношении показателя трудностей программирования. Различий между группами 2 и 3 обнаружено не было. Важно отметить наиболее низкие показатели во всех трех группах по компоненту самоконтроля, что,

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... скорее всего, говорит о возрастной несформированности данных функций у детей 6-7,5 лет и согласуется с литературными данными [Luna, 2010].

Рассмотрим отдельные компоненты, входящие в интегральные показатели программирования и избирательной регуляции деятельности, более подробно (рис. 2). У детей 6-6,5 лет отмечаются более низкие возможности не только самостоятельной выработки алгоритмов деятельности (по сравнению и со 2-ой – $U = 656,000$, $p = 0,031$, и с 3-ей – $U = 260,000$, $p = 0,013$ группами), но и усвоения инструкций (при сравнении с 3-ей группой – $U = 304,000$, $p = 0,041$). Также при сравнении детей 6-6,5 лет и 7-7,5 в младшей группе отмечаются более выраженные дефициты в виде инертного повторения усвоенной программы и трудностей переключения с программы на программу ($U = 282,000$, $p = 0,022$). С учетом поправки Бонферрони значимые различия для парных сравнений сохраняются только в отношении показателя трудностей самостоятельной выработки алгоритмов деятельности при сравнении групп 1 и 3.

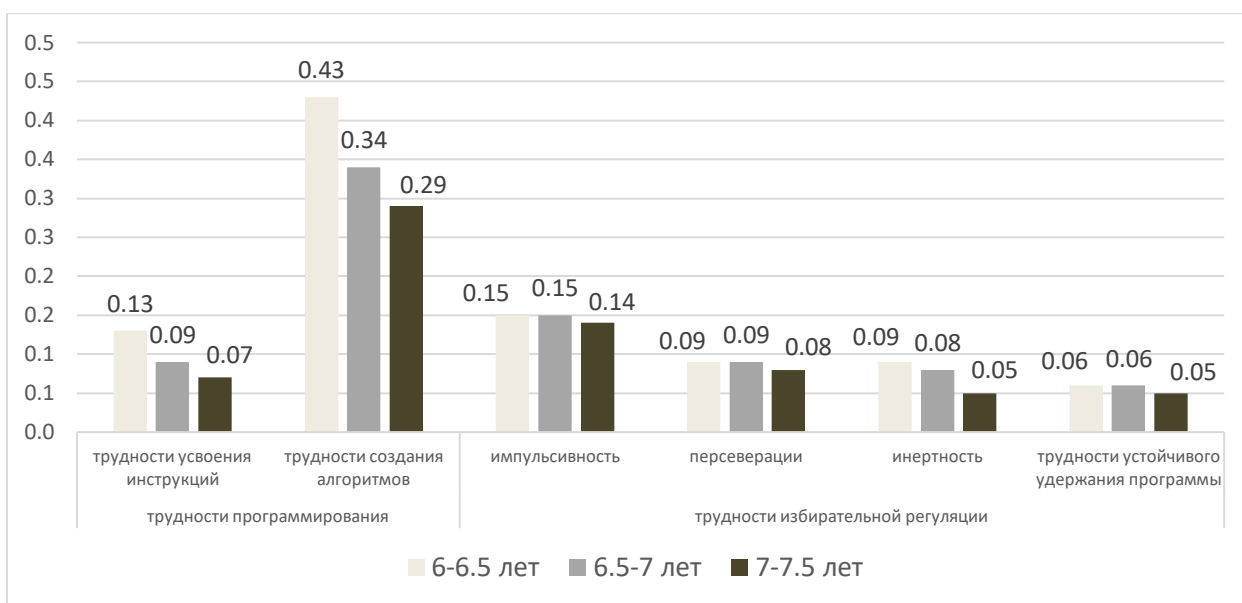


Рис. 2. Возрастные изменения нейропсихологических показателей дефицитов отдельных компонентов УФ.

Рабочая память

Эффективность РП оценивалась в ходе выполнения проб *Зоопарк*, *Кубики Корси* и *Руки-ноги-голова (РНГ)*. Для характеристики возрастной динамики показателей этих тестов мы использовали частоту представленности случаев с максимальной успешностью выполнения проб в группах (рис. 3).

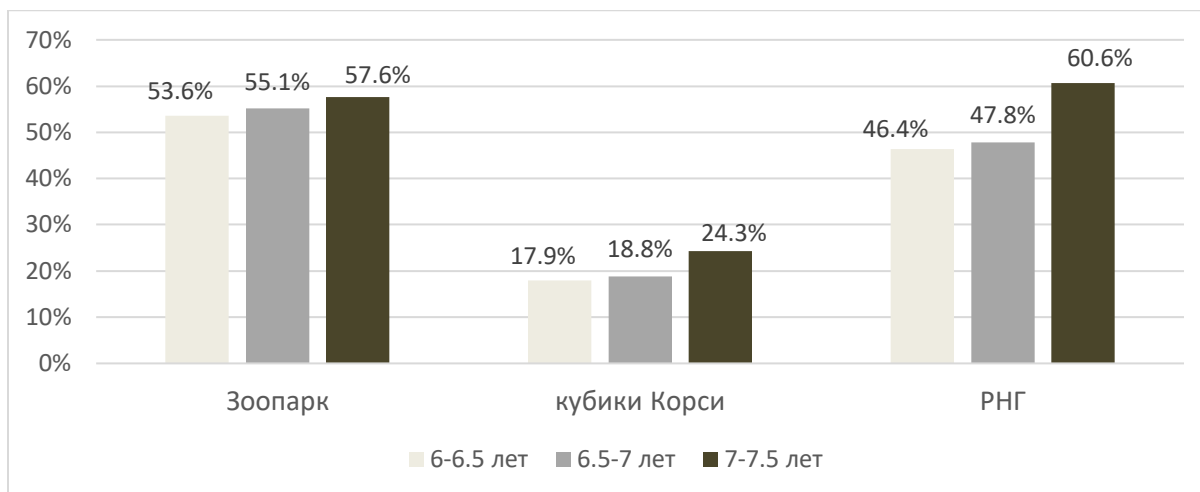


Рис. 3. Частота представленности случаев с максимальной успешностью выполнения тестов на эффективность РП: для пробы Зоопарк – случаи с максимальным баллом (4), для пробы Кубики Корси – случаи с максимальным количеством символом правильно воспроизведенной последовательности (≥ 6 символов), для пробы РНГ – случаи, для которых точность составляла больше 65% правильных ответов.

С возрастом наблюдается тенденция к увеличению эффективности РП, однако статистическое сравнение не выявило значимых различий по этим показателям. В то же время были обнаружены различия по показателям, связанным с временными параметрами выполнения пробы РНГ: показатель «темп» (количество правильных ответов в минуту) оказался выше в группе 3, чем в 1 ($U = 292,000$, $p = 0,023$), а время реакции (ВР) – ниже ($U = 292,000$, $p = 0,023$).

Произвольная регуляция речевой деятельности

Для анализа возможностей произвольной регуляции речевой деятельности были использованы две пробы: *составление рассказа по серии сюжетных картинок* и *запоминание двух групп по три слова*, предполагающее оценку возможностей произвольного и произвольного удержания последовательности слов в заданном порядке.

В качестве основного показателя эффективности произвольной регуляции речевой деятельности в пробе на составление рассказа мы использовали процент детей в каждой из групп, которые демонстрировали безошибочное выполнение данной пробы, т.е. составление полного последовательного рассказа с использованием всех смысловых звеньев сюжета и правильным грамматическим и лексическим его оформлением. Анализировалось три параметра: программирование речевого высказывания, грамматическое и лексическое оформление высказывания (рис. 4), в отношении каждого из которых заметна явная положительная динамика с возрастом. Включение грамматических и лексических

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... компонентов в анализ было обусловлено задачей проверки возможного влияния сформированности управляющих функций на обработку речевой информации. Значимые межгрупповые различия были обнаружены только для показателя программирования рассказа ($\chi^2(2) = 8,523$, $p = 0,014$). Парные сравнения выявили различия между средней и старшей группами ($\chi^2(2) = 8,755$, $p = 0,003$).

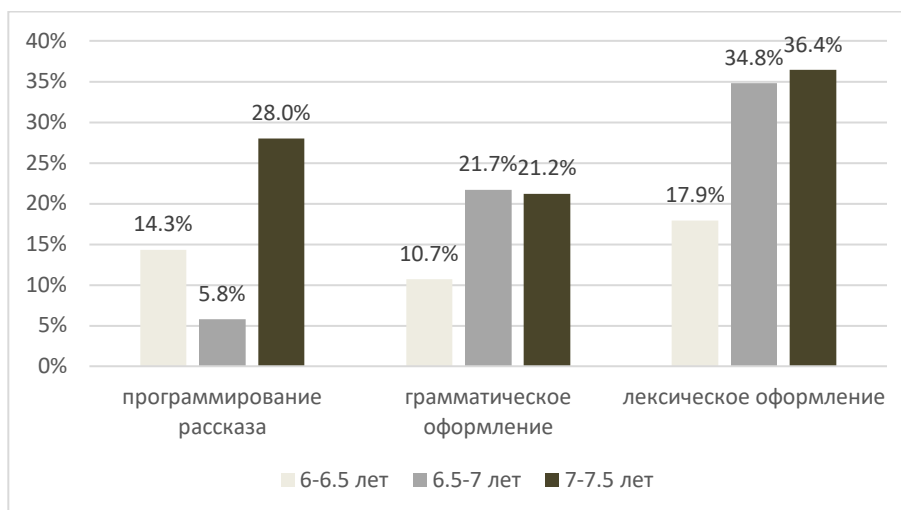


Рис. 4. Частота представленности случаев с безошибочным выполнением пробы на составление рассказа по серии сюжетных картинок.

В качестве показателя регуляции речевой деятельности в пробе на *запоминание двух групп по три слова* мы анализировали 3 параметра: продуктивность (количество правильно воспроизведенных слов) произвольного запоминания, продуктивность произвольного запоминания и соблюдение порядка воспроизведения слов. Для этих параметров были выбраны критерии высокой эффективности деятельности: для произвольного запоминания оценивалось количество случаев, для которых продуктивность была выше или равно 5, для произвольного запоминания этот показатель был равен 6 (максимальное значение) и для порядка воспроизведения подсчитывалось число случаев с безошибочным выполнением. Распределение этих показателей по группам представлено на рис. 5.

Статистический анализ выявил групповые различия на уровне тенденций для продуктивности произвольного запоминания ($\chi^2(2) = 4,720$, $p = 0,094$) и значимые межгрупповые различия для показателя, характеризующего соблюдение порядка стимульных слов ($\chi^2(2) = 9,942$, $p = 0,007$).

Парные сравнения продуктивности произвольного запоминания показали значимые различия между старшей и младшей возрастными группами ($\chi^2(2) = 4,447$, $p = 0,029$). Парные сравнения

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... групп по показателю правильного воспроизведения порядка стимульных слов обнаружили значимые различия между младшей и двумя другими группами: средней ($\chi^2(2) = 4,272$, $p = 0,039$) и старшей ($\chi^2(2) = 8,947$, $p = 0,003$).

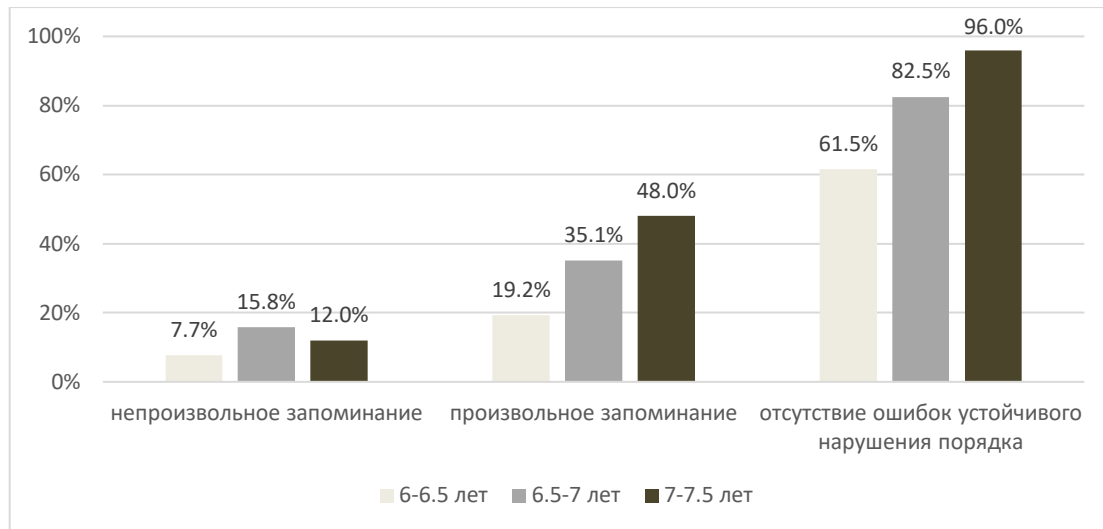


Рис. 5. Частота представленности случаев с наиболее эффективным выполнением пробы на запоминание двух групп по три слова.

Внимание (по результатам компьютерного тестирования)

По средним показателям выполнения *теста Точки* статистически значимых возрастных различий обнаружено не было, но отмечалась прогрессивная динамика показателей выполнения отдельных субтестов. Так, средняя продуктивность выполнения самого простого субтеста 1 во всех группах составляет 19 баллов из 20, что говорит о сформированности способности следовать простой инструкции. В то же время среднее ВР незначительно уменьшается с возрастом ($M = 0,63 \pm 0,13$ с. в младшей группе, $M = 0,59 \pm 0,11$ с. в средней и $M = 0,56 \pm 0,12$ с. в старшей), при этом обнаружена лишь тенденция к значимым различиям между группами 1 и 3 ($U = 316,000$, $p = 0,084$). При выполнении субтеста 2 с задачей нажимать ответную кнопку с противоположной стороны от стимула средняя продуктивность различалась на уровне тенденции между младшей ($M = 16,81 \pm 2,31$) и старшей ($M = 17,87 \pm 1,89$) группами ($U = 295,500$, $p = 0,056$), а ВР – между средней ($M = 0,75 \pm 0,13$ с.) и старшей ($M = 0,70 \pm 0,16$ с.) ($U = 765,000$, $p = 0,56$). В субтесте 3 оценивается способность переключения между конкурирующими программами. Эта способность оказывается у всех исследованных детей еще явно несформированной. Так, средняя продуктивность во всех трех группах составила 12 баллов из возможных 20, а ВР изменялось с возрастом незначительно (от 0,86 с. в младшей группе до 0,84 с. в старшей).

Для анализа успешности выполнения *теста «Таблицы Шульте»* мы использовали частоту

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... представленности случаев с безошибочным выполнением теста. Все дети справлялись с каждым следующим заданием все лучше при переходе от первого субтеста к третьему. Можно предположить, что относительно более низкий процент детей во всех трех группах, безошибочно выполнивших первый субтест по сравнению со вторым ($\chi^2 = 10,023$, $p = 0,002$), связан с недостаточным усвоением новой инструкции при работе с субтестом 1. Пятый субтест (аналогичный по содержанию третьему – поиск чисел от 10 до 1) был выполнен хуже ($\chi^2 = 8,511$, $p = 0,004$), что уже можно связать с трудностями длительного поддержания внимания в условиях монотонной деятельности.

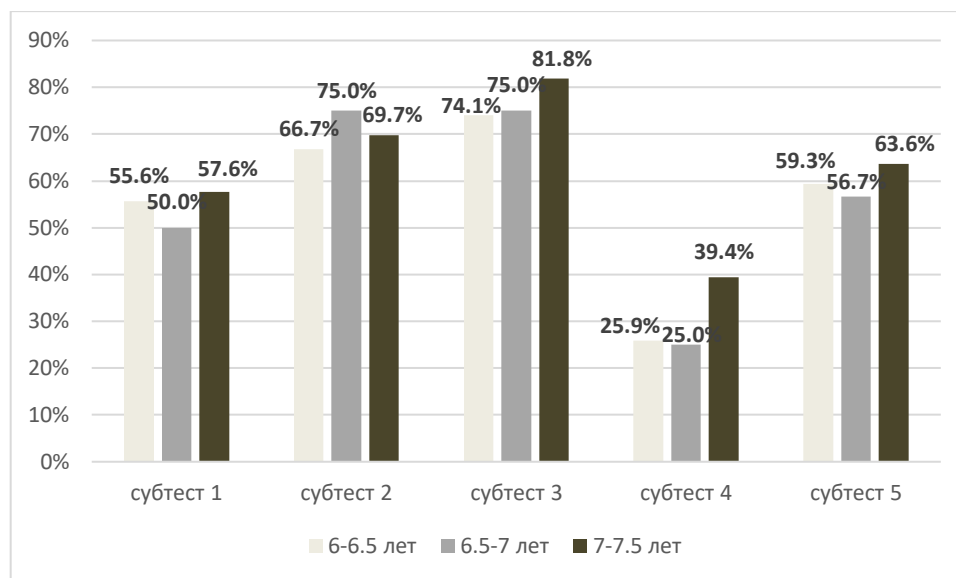


Рис. 6. Частота представленности случаев с безошибочным выполнением теста «Таблицы Шульте».

Наиболее сложным с точки зрения эффективности избирательного внимания является четвертый субтест, в котором требуется переключение с одной программы на другую. На рис. 6 видно, что такое усложнение деятельности приводит к существенному снижению процента детей, выполнивших это задание правильно по сравнению с заданием субтеста 2 ($\chi^2 = 42,639$, $p < 0,001$) и 3 ($\chi^2 = 42,087$, $p < 0,001$). Таким образом, эффективность внимания при выполнении теста «Таблицы Шульте» в большей степени зависит от условий деятельности, чем от возраста детей, некоторое прогрессивное изменение выявлено для более сложного субтеста 4 в старшей группы, однако эти изменения не достигали уровня статистической значимости.

При выполнении *корректирующей пробы* в более простом субтесте 1 с задачей найти и отметить фигуры одного типа (круги) различий между группами в продуктивности выполнения не отмечалось: все дети в среднем правильно отмечали 26 стимульных фигур из 27. Практически

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... безошибочное выполнение этого задания может быть связано с тем, что дети в рамках основной и дополнительной дошкольной образовательной программы часто сталкиваются с заданиями такого типа. В то же время по темпу выполнения (количество обработанных стимулов в минуту) субтеста 1 отмечаются статистически значимые различия при сравнении младшей ($M = 16,47 \pm 3,13$) и старшей ($M = 19,74 \pm 7,87$) групп ($U = 290,500$, $p = 0,021$) и тенденции к различиям при сравнении средней ($M = 17,19 \pm 4,48$) и старшей групп ($U = 763,500$, $p = 0,054$), что свидетельствует о прогрессивных изменениях способности удерживать внимание на монотонной задаче после 7 лет. В субтесте 2 с задачей отметить уже две стимульные фигуры (круг и звездочка) у всех групп дошкольников, несмотря на усложнение задания, сохраняется довольно высокая продуктивность: в среднем они правильно отмечают 52 фигуры из 54, но существенно (на 45%) снижается темп выполнения ($W = 7354,000$, $p < 0,001$), что может быть связано с необходимостью удержания в РП уже двух стимульных фигур и сличения их образа с очередным стимулом.

Обсуждение

Исследование различных компонентов УФ у детей дошкольного возраста позволило обнаружить, с одной стороны, прогрессивное формирование функций произвольной регуляции и организации деятельности в целом, особенно при сравнении младшей и старшей групп, а с другой – наличие разных траекторий развития отдельных компонентов УФ, что согласуется с литературными данными [Семенова, Кошельков, 2007; Diamond, 2002; Welsh et al., 1991]. Однако в известных нам источниках не сообщается о гетерохронии развития УФ в анализируемом нами более узком возрастном диапазоне.

Для всей исследованной выборки были характерны низкие показатели самоконтроля, что может говорить о несформированности этого компонента УФ в возрасте 6-7,5 лет, подтверждение чему можно увидеть и в других исследованиях [Luna, 2010]. Прогрессивные изменения УФ у детей 7-7,5 лет по сравнению с детьми 6-6,5 лет касались усвоения инструкций, самостоятельной выработки алгоритмов, преодоления инертности при выполнении графомоторных проб и переключения с программы на программу. Вместе с тем часть анализируемых компонентов УФ (возможности преодоления непосредственных реакций, переключение с одного действия на другое, устойчивое поддержание усвоенной программы и контроль) не демонстрировала значимой возрастной динамики. В других исследованиях, где сравнивались дети, отличающиеся не только по возрасту, но и по программе образования (дошкольники и младшие школьники), были обнаружены существенные прогрессивные преобразования в период от 5 до 7-8 лет в отношении

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... возможностей программирования и контроля собственной деятельности [Мозговые механизмы..., 2014].

Анализ произвольной регуляции речевой деятельности обнаружил более высокие возможности у детей 7-7,5 лет в планировании собственного речевого высказывания: дошкольники старшей группы по сравнению со средней и младшей составляли более полные и последовательные рассказы по серии сюжетных картинок. Однако возможности грамматического и лексического оформления высказывания в трех возрастных группах значимо не различались. Можно предположить, что обнаруженные возрастные изменения в речевой деятельности связаны с общими тенденциями развития УФ мозга. В пользу этого предположения свидетельствуют результаты проведенного дополнительно корреляционного анализа. Параметр *программирование речевого высказывания* обнаружил значимые корреляционные связи с возможностями переключения с одной программы на другую ($r = 0,195$, $p = 0,039$) и устойчивого поддержания усвоенной программы ($r = 0,196$, $p = 0,037$). *Правильность грамматического высказывания* – с компонентом контроля за деятельностью ($r = 0,226$, $p = 0,016$), возможностями переключения с программы на программу ($r = 0,220$, $p = 0,019$) и устойчивого поддержания программы ($r = 0,217$, $p = 0,021$). *Точность лексического оформления* рассказа – с интегральными показателями возможностей программирования ($r = 0,295$, $p = 0,004$), регуляции ($r = 0,295$, $p = 0,002$) и контроля ($r = 0,211$, $p = 0,035$). Связь между различными компонентами произвольной регуляции и состоянием речевых функций, в том числе точностью словоупотребления и грамматического оформления фраз, отмечалась и в исследовании детей 5-6 и 7-8 лет [Семенова, 2014]. Связь между эффективностью произвольной регуляцией деятельности и различными компонентами речи делает сведения о возрастных особенностях УФ в дошкольном возрасте еще более значимой при определении готовности детей к систематическому обучению.

Роль УФ в развитии когнитивных процессов, необходимых для освоения школьной образовательной программы, была показана в ряде работ [Blair, Razza, 2007; Bull et al., 2008]. В нашем исследовании были обнаружены значимые положительные корреляции между экспертным мнением воспитателей о недостаточной готовности ребенка предшкольного возраста к обучению и нейропсихологическими показателями несформированности УФ.

Согласно литературным данным, важным показателем для прогноза успешности обучения является эффективность РП [Alloway, 2010]. В нашем исследовании тестирование эффективности зрительной РП выявило значимые прогрессивные изменения в старшей группе

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... по сравнению с младшей и средней группами только при выполнении задания *Руки-ноги-голова*, но не в заданиях *Кубики Корси* и *Зоопарк*. Причина неоднозначной картины возрастной динамики РП по показателям отдельных тестов, вероятно, кроется в различиях когнитивных операций, которые лежат в основе выполнения разных заданий. Как известно, РП является многокомпонентной когнитивной функцией. В различных моделях РП [Cowan, 1999; Repovs, Baddeley, 2006] наряду с мнестическими компонентами в качестве необходимого элемента присутствует механизм нисходящего управляющего контроля (executive control). Используемые в данном исследовании тесты различаются с точки зрения нагрузки на зрительно-пространственную память и управляющий контроль. Тест *Кубики Корси* по структуре когнитивных операций аналогичен тесту Dot Matrix [Absatova, 2015; Alloway, 2007], предназначенному для оценки кратковременной зрительно-пространственной памяти (на экране в ячейках квадратной матрицы 4x4 в определенном порядке появляются красные точки, а ребенок должен запомнить и затем воспроизвести эту последовательность). Выполнение теста *Зоопарк* также требует вовлечения в основном зрительно-пространственной памяти. С другой стороны, при выполнении теста *Руки-ноги-голова* (вариант n-back задачи) ребенок должен не только запомнить и правильно воспроизвести предыдущую команду, но и усвоить более сложную деятельность, преодолеть непосредственную реакцию на текущую команду, а также ее интерферирующее влияние на кратковременную память, что существенно повышает нагрузку на управляющий контроль. Учитывая значимые прогрессивные изменения УФ, выявленные у обследованных детей в период от 6 до 7.5 лет, именно с нагрузкой на управляющий контроль можно связать специфику возрастной динамики показателей теста «Руки-ноги-голова». Возможно, на исследованном нами (относительно коротком) отрезке развития существенных изменений зрительно-пространственной памяти не происходит, а совершенствование РП в предшкольном возрасте [Alloway et al., 2006] больше связано с созреванием управляющего компонента. Это предположение согласуется с данными исследования [Pailian et al., 2016], в котором оценивалась продуктивность зрительной кратковременной памяти у детей при контроле влияния других перцептивных и когнитивных процессов (внимание, целостное зрительное восприятие и управляющий контроль). Согласно результатам этого исследования в наблюдаемом возрастном диапазоне (3-8 лет) емкость зрительно-пространственной памяти растет, достигая «взрослого уровня» к 8 годам, однако наиболее выраженные изменения отмечаются при сравнении детей 3-5 и 6-8 лет, а дети 6 лет незначительно отличаются по данному показателю от детей 7 лет [Pailian et al., 2016, p. 1571]. При этом показано, что эффективность управляющего контроля равномерно увеличивалась в возрастном интервале от 4 до 8 лет, не достигая «взрослого уровня» и к 8 годам.

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... Анализ результатов тестов на внимание (Точки, таблицы Шульте, корректурная проба) показал, что прогрессивные возрастные изменения у детей в период от 6 до 7.5 лет проявлялись только в более сложных субтестах, где требовалось торможение непосредственной реакции. С простыми тестами все дети справлялись одинаково успешно, а вот сложные субтесты, где требовалось переключение между конкурирующими программами, всем детям давались одинаково трудно. Кроме того, при выполнении практически всех этих тестов скорее отмечалось влияние фактора субтеста, нежели возраста. При усложнении субтестов наблюдалось как снижение продуктивности, так и увеличение времени, затрачиваемого на выполнение заданий. В других исследованиях с использованием аналогичных компьютеризированных проб на внимание у детей 6-9 лет [Жижина и др., 2021; Корнеев и др., 2019] были отмечены существенные возрастные изменения, однако сравнение осуществлялось между детьми дошкольного и младшего школьного возраста, причем авторы исследования подчеркивали, что наибольший скачок измеряемых показателей был зафиксирован при сравнении групп дошкольников и первоклассников. Эти результаты могут объясняться не столько разницей в возрасте, сколько изменениями характера деятельности ребенка, предъявляющей новые повышенные требования к эффективности УФ.

При обсуждении результатов сравнительного исследования УФ в трех возрастных группах обращает на себя внимание некоторое преимущество инструментов качественного нейропсихологического анализа перед стандартными количественными тестами. Это преимущество, по нашему мнению, может быть обусловлено применением синдромного подхода, предложенного А.Р. Лурия [Solovieva, Quintanar, 2020], который состоит в оценке эффективности отдельных компонентов ВПФ (в данном случае отдельных компонентов УФ) в разных пробах при разных (но достаточно простых) формах деятельности, что позволяет выявить специфические трудности выполнения тестов, связанные с конкретными компонентами произвольной регуляции деятельности и дифференцировать их от трудностей, связанных с другими компонентами УФ, модальностью стимулов или условиями выполнения пробы. Тогда как в случае применения стандартных тестов на внимание оценка эффективности УФ строится в основном на анализе показателей конкретного, но сложного по структуре УФ теста. Учитывая гетерохронию формирования различных составляющих произвольной регуляции деятельности, можно предположить, что трудности дифференцированной оценки отдельных компонентов УФ в этом случае приводят к сглаживанию возрастных различий.

Заключение

Сравнение трех групп детей, различающихся по хронологическому возрасту, но находящихся в относительно сходных условиях развития и обучения (посещение подготовительных групп дошкольных учреждений), обнаружило не только прогрессивное формирование функций произвольной регуляции и организации деятельности в целом, но и наличие разных траекторий развития отдельных компонентов УФ и внимания: более высокие возможности усвоения инструкций и самостоятельного создания алгоритмов деятельности, механизмов переключения как с действия на действия, так и с программы на программу, более высокие темповые характеристики в тестах на внимание и РП у детей старшей группы (7-7.5 лет) при относительной незрелости функций самоконтроля в предшкольном возрасте в целом. Многие компоненты УФ и внимания обнаружили значимые различия прежде всего между детьми младшей и старшей возрастных групп, что позволяет обосновать ограничение начала систематического обучения в школе с 6.5 лет с учетом ключевой роли, которую УФ играют в освоении школьных знаний. Вместе с тем, при определении готовности к обучению в школе, а также планировании развивающих и образовательных воздействий при подготовке к ней необходимо учитывать не только возрастные особенности развития УФ, но и индивидуальные траектории их формирования.

Литература

Ахутина Т.В., Камардина И.О., Пылаева Н.М. Нейропсихолог в школе. Индивидуальный подход к детям с трудностями обучения в условиях школьного образования. М.: Изд-во В. Секачев, 2014. 57 с.

Ахутина Т.В., Кремлёв А.Е., Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю., Гусев А.Н. 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, 486–490.

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

Жижина О.Г., Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю. Возрастные особенности выполнения компьютерных методик нейропсихологического обследования детьми 6-9 лет [Электронный ресурс] // Психологические исследования, 2021, Т.14, No. 77, 1. URL:

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
<http://psystudy.ru/index.php/num/2021v14n77/1875-zhizhina77.html> (дата обращения:
10.09.2021).

Захарова М.Н., Сугрובה Г.А., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей 5-7 лет // Когнитивная наука в Москве: новые исследования Материалы конференции / Под редакцией Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман. Москва: БукиВеди, ИППиП, 2021, с. 154-159.

Корнеев А.А., Матвеева Е.Ю., Ахутина Т.В. Компьютерные методы нейропсихологической диагностики // Вести БГПУ, Сер.1., Педагогика. Психология. Философия, 2019, Т.1, No. 2, 84-89.

Лобные доли и регуляция психических процессов / под ред. А.Р. Лурия, Е.Д. Хомской. М.: Изд-во Московского университета, 1966. 740 с.

Лурия А.Р. Язык и сознание. М.: Изд-во МГУ, 1979. 320 с.

Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга. Журн. Высш. Нервн. Деят. Им. И.П. Павлова, 65(1), 2015, 33-60.

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

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.

Семенова О.А. Формирование познавательной деятельности в детском возрасте // 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, 16-41.

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, No. 4, 21-38.

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...

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, No. 4, 39-49.

Семенова О.А., Мачинская Р.И., Ломакин Д.И. Влияние функционального состояния регуляторных систем мозга на эффективность программирования, избирательной регуляции и контроля // Физиология человека, 2015, Т. 41, No. 4, 5-17.

Шаповаленко И.В. Возрастная психология (Психология развития и возрастная психология). М.: Гардарики, 2005. 349 с.

Эльконин Д.Б. Психология игры. 2-е изд. М.: ВЛАДОС, 1999. 360 с.

Absatova K.A. Applying Automated Working Memory Assessment and Working Memory Rating Scale in Russian Population //The Russian Journal of Cognitive Science, 2015, Vol. 3 (1–2), 21–33.

Alloway T.P. Automated Working Memory Assessment: Manual. London: Pearson Assessment, 2007.

Alloway T.P., Alloway R.G. Investigating the Predictive Roles of Working Memory and IQ in Academic Attainment. Journal of Experimental Child Psychology, 2010, 106, 20-29. doi:10.1016/j.jecp.2009.11.003.

Alloway T.P., Alloway R.G. Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach // Journal of Cognitive Psychology, 2013, Vol. 25, No.1, 84–93. doi:10.1080/204459 11.2012.748027.

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, 77(6), 1698–1716. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x.

Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? // Trends. Cogn. Sci., 2000, Vol. 4, No. 11, 417—423.

Blair C., Razza R.P. Relating effortful control, executive function, and false-belief understanding to

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
emerging math and literacy ability in kindergarten // *Child Development*, 2007, Vol 78, 647–663.

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, 205-228.

Cowan N. An Embedded-Processes Model of Working Memory // A. Miyake, P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, 62-101. doi:10.1017/CBO9781139174909.006.

Davidson M.C., Amso D., Anderson L.C., Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching // *Neuropsychologia*, 2006, 44(11), 2037-2078. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006.

Diamond A. Executive functions. *Annual review of psychology*, 2013, No. 64, 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750.

Diamond A. Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. // *Principles of frontal lobe function* / Ed. By D.T. Stuss, R.T. Knight - Oxford University Press., 2002, 466-503.

Garon N., Bryson S.E., Smith I.M. Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. // *Psychological Bulletin*, 2008, 134(1), 31–60. doi:10.1037/0033-2909.134.1.31.

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

Pailian H., Libertus M.E., Feigenson L. Visual working memory capacity increases between ages 3 and 8 years, controlling for gains in attention, perception, and executive control // *Atten. Percept. Psychophys.*, 2016, 78, 1556–1573. doi:10.3758/s13414-016-1140-5.

Perlman S.B., Huppert T.J., Luna B. Functional near-infrared spectroscopy evidence for development of prefrontal engagement in working memory in early through middle childhood // *Cerebral Cortex*, 2016, 26, No.6, 2790-2799. doi:10.1093/cercor/bhv139.

Repovs G., Baddeley A. The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology // *Neuroscience*, 2006, Apr 28; 139(1), 5-21. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.12.061.

Riggs N.R., Greenberg M.T., Kusché C.A., Pentz M.A. The mediational role of neurocognition in the behavioral outcomes of a social-emotional prevention program in elementary school students: Effects of the PATHS curriculum // *Prevention Science*, 2006. Vol. 7, 91–102.

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, 1029-1040.

Shipstead Z., Redick T.S., Engle R.W. Is working memory training effective? // *Psychological Bulletin*, 2012, 138(4), 628–654. doi:10.1037/a0027473.

Solovieva Y., Quintanar L. Qualitative neuropsychological assessment of children // 2nd International Neuropsychological Summer School named after A. R. Luria “The World After the Pandemic: Challenges and Prospects for Neuroscience”: Proceedings of Science School (Ekaterinburg, August 20–22, 2020). Ekaterinburg: Ural University Press, 2020, 23-26.

Welsh M.C., Pennington B.F., Grossier P.B. A normative-developmental study of executive function // *Developmental Neuropsychology*, 1991, Vol. 7, 131-149. doi:10.1080/87565649109540483.

Поступила в редакцию 14 декабря 2021 г. Дата публикации: 28 февраля 2022 г.

Сведения об авторах

Захарова Марина Николаевна. Старший научный сотрудник лаборатории нейрофизиологии когнитивной деятельности Института возрастной физиологии Российской академии образования, 119121 Москва, ул. Погодинская, д. 8, корп. 2.

E-mail: voronova-m@mail.ru

Мачинская Регина Ильинична. Доктор биологических наук, заведующая лабораторией нейрофизиологии когнитивной деятельности Института возрастной физиологии Российской академии образования, 119121 Москва, ул. Погодинская, д. 8, корп. 2.

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
E-mail: reginamachinskaya@gmail.com

Ссылка для цитирования

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей 6-7 лет.
Психологические исследования. 2022. Т. 15, № 81. С. 6. URL: <https://psystudy.ru>

Адрес статьи: <https://doi.org/10.54359/ps.v15i81.1079>

Zakharova M.N. Machinskaya R.I. The development of executive functions in children aged 6-7 years

Institute of Developmental Physiology, Moscow, Russia

Using neuropsychological methods, we studied the development of executive functions (EF) and selective attention collectively referred to as *the voluntary regulation of behavior*. Children of three age groups were studied: 6-6,5 years (n = 28), 6,5-7 years (n = 69), and 7-7,5 (n = 33) years. EF components in preschool children were found to develop with different pace: considerable development of the programming function and selective regulation was accompanied by the immaturity of self-control. The younger children showed lower levels of overall EF development. The most prominent age-related differences in younger children were related to the ability to learn instructions and to generate algorithms, as well as the ability to switch between separate actions and between activity patterns.

Keywords: executive functions, voluntary regulation of cognitive processes, working memory, attention, preschool age, neuropsychology

References

Akhutina T.V., Kamardina I.O., Pylaeva N.M. *Neiropsikholog v shkole. Individual'nyi podkhod k detyam s trudnostyami obucheniya v usloviyakh shkol'nogo obrazovaniya* [Neuropsychologist at school. Individual approach to children with learning difficulties in a school setting]. Moscow: V. Sekachev Publ., 2014. 57 p. (in Russian)

Akhutina T.V., Kremlev A.E., Korneev A.A., Matveeva E.Yu., Gusev A.N. *Razrabotka komp'yuternykh metodik neiropsikhologicheskogo obsledovaniya* [The Computerized Battery of Neuropsychological Tests]. In Pechenkova E.V., Falikman M.V. (ed.), *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya* [Cognitive science in Moscow: new research]. Moscow: ООО «Buki Vedi», IPPiP, 2017. Pp. 486–490. (in Russian)

Akhutina T.V., Pylaeva N.M. *Preodolenie trudnostei ucheniya: neiropsikhologicheskii podkhod* [Overcoming learning disabilities: neuropsychological approach]. Saint-Petersburg: Piter, 2008. 320 p. (in Russian)

El'konin D.B. *Psikhologiya igry* [Psychology of the game]. Moscow: VLADOS, 1999. 360 p. (in Russian)

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
Korneev A.A., Matveeva E.Yu., Akhutina T.V. Komp'yuternye metody neiropsikhologicheskoi diagnostiki [Computer methods of neuropsychological diagnostics]. Vesti BGPU, Ser.1., Pedagogika. Psikhologiya. Filosofiya, 2019, T.1. No.2. Pp. 84-89. (in Russian)

Lobnye doli i regulyatsiya psikhicheskikh protsessov [Frontal lobes and regulation of mental processes]. In Luriya A.R., Khomskoi E.D. (ed.). Moscow: MGU Publ., 1966. 740 p. (in Russian)

Luriya A.R. Yazyk i soznanie [Language and Consciousness]. Moscow: MGU Publ., 1979. 320 p. (in Russian)

Machinskaya R.I. Upravlyayushchie sistemy mozga [Brain executive systems]. Zhurn. Vyssh. Nervn. Deyat. Im. I.P. Pavlova. 65(1), 2015, pp. 33-60. (in Russian)

Metody neiropsikhologicheskogo obsledovaniya detei 6-9 let [Methods of neuropsychological examination of children 6-9 years old]. Akhutina T.V. (ed.). Moscow: V.Sekachev Pub., 2016. 280 p. (in Russian)

Mozgovye mekhanizmy formirovaniya poznavatel'noi deyatel'nosti v predshkol'nom i mladshem shkol'nom vozraste [Brain mechanisms of the formation of cognitive activity in preschool and primary school age]. Machinskaya R. I., Farber D.A. (ed.). Moscow: NOU VPO «MPSU»; Voronezh: MODEK, 2014. 440 p. (in Russian)

Semenova O.A. Formirovanie poznavatel'noi deyatel'nosti v detskom vozraste [Formation of cognitive activity in childhood]. In Machinskaya R.I., Farber D.A. (ed.), Mozgovye mekhanizmy formirovaniya poznavatel'noi deyatel'nosti v predshkol'nom i mladshem shkol'nom vozraste [Brain mechanisms of the formation of cognitive activity in preschool and primary school age]. Moscow: NOU VPO «MPSU»; Voronezh: MODEK, 2014. Pp. 16-41. (in Russian)

Semenova O.A., Koshel'kov D.A. Osobennosti proizvol'noi regulyatsii deyatel'nosti u detei 5-6 let s priznakami defitsita vnimaniya i giperaktivnosti [Features of voluntary regulation of activity in children 5-6 years old with signs of attention deficit and hyperactivity disorder]. Novye issledovaniya [New research], 2008, T. 17, No 4, pp. 21-38. (in Russian)

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-related changes in

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей... voluntary regulation of activity in preschool and primary school age]. *Kul'turno-istoricheskaya psikhologiya* [Cultural-Historical Psychology], 2007, No.4, pp.39-49. (in Russian)

Semenova O.A., Machinskaya R.I., Lomakin D.I. Vliyanie funktsional'nogo sostoyaniya regulyatornykh sistem mozga na effektivnost' programmirovaniya, izbiratel'noi regulyatsii i kontrolya [The Influence of the functional state of brain regulatory structures on the programming, selective regulation and control of cognitive activity in children]. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology], 2015, T. 41, No. 4, pp.5-17. (in Russian)

Shapovalenko I.V. *Vozrastnaya psikhologiya* [Developmental psychology]. Moscow: Gardariki, 2005. 349 p. (in Russian)

Zhizhina O.G., Korneev A.A., Matveeva E.Yu. Vozrastnye osobennosti vypolneniya komp'yuternykh metodik neiropsikhologicheskogo obsledovaniya det'mi 6-9 let [Age differences in results of computer-based neuro- psychological tests in 6-9 years old children]. [Elektronnyi resurs] *Psikhologicheskie issledovaniya* [Psychological research], 2021, T. 14, No. 77, p. 1. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2021v14n77/1875-zhizhina77.html> (Accessed: 10.09.2021). (in Russian)

Zakharova M., Sugrobova G., Machinskaya R. Age-related changes of executive functions in children aged 5-7 years. In Pechenkova E.V., Falikman M.V., Koifman A.Ya. (ed.), *Kognitivnaya nauka v Moskve: novye issledovaniya* [Cognitive science in Moscow: new research]. Moscow: ООО «Buki Vedi», IPPiP, 2021. Pp. 154–159. (in Russian)

Absatova K.A. Applying Automated Working Memory Assessment and Working Memory Rating Scale in Russian Population. *The Russian Journal of Cognitive Science*, 2015. Vol. 3 (1–2). Pp. 21–33.

Alloway T.P. *Automated Working Memory Assessment: Manual*. London: Pearson Assessment, 2007.

Alloway T.P., Alloway R.G. Investigating the Predictive Roles of Working Memory and IQ in Academic Attainment. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2010, 106, 20-29. DOI:10.1016/j.jecp.2009.11.003.

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...

Alloway T.P., Alloway R.G. Working memory across the lifespan: A cross-sectional approach // *Journal of Cognitive Psychology*, 2013. Vol. 25. No.1. Pp. 84–93. DOI:10.1080/20445911.2012.748027.

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, 77(6), 1698–1716. DOI:10.1111/j.1467-8624.2006.00968.x.

Baddeley A. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends. Cogn. Sci.* 2000, Vol. 4, No. 11. Pp. 417—423.

Blair C., Razza R.P. Relating effortful control, executive function, and false-belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 2007. Vol 78. P.647–663.

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. Pp. 205-228.

Cowan N. An Embedded-Processes Model of Working Memory. In Miyake A., Shah P. (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, 1999. pp. 62-101. Cambridge: Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9781139174909.006.

Davidson M.C., Amso D., Anderson L.C., Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 2006, 44(11), 2037-2078. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006.

Diamond A. Executive functions. *Annual review of psychology*, 2013, No. 64, pp. 135-168. DOI:10.1146/annurev-psych-113011-143750.

Diamond A. Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. *Principles of frontal lobe function* / Ed. By D.T. Stuss, R.T. Knight – Oxford University Press., 2002. – pp. 466-503.

Garon N., Bryson S.E., Smith I.M. Executive function in preschoolers: A review using an integrative

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
framework. *Psychological Bulletin*, 2008, 134(1), pp. 31–60. DOI:10.1037/0033-2909.134.1.31.

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

Pailian H., Libertus M.E., Feigenson L. Visual working memory capacity increases between ages 3
and 8 years, controlling for gains in attention, perception, and executive control. *Atten Percept
Psychophys*, 2016, 78, pp. 1556–1573. DOI:10.3758/s13414-016-1140-5.

Perlman S.B., Huppert T.J., Luna B. Functional near-infrared spectroscopy evidence for development
of prefrontal engagement in working memory in early through middle childhood. *Cerebral
Cortex*, 2016, 26, No.6, pp.2790-2799. DOI:10.1093/cercor/bhv139.

Posner M.I., DiGirolamo G.J. Executive attention: Conflict, target detection, and cognitive control //
In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain*. The MIT Press., 1998, pp. 401–423.

Repovs G., Baddeley A. The multi-component model of working memory: explorations in
experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 2006, Apr 28; 139(1), pp. 5-21. DOI:
10.1016/j.neuroscience.2005.12.061.

Riggs N.R., Greenberg M.T., Kusché C.A., Pentz M.A. The mediational role of neurocognition in the
behavioral outcomes of a social-emotional prevention program in elementary school students: Effects
of the PATHS curriculum. *Prevention Science*, 2006. Vol. 7. Pp.91–102.

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, pp. 1029-
1040.

Shipstead Z., Redick T.S., Engle R.W. Is working memory training effective? *Psychological
Bulletin*, 2012, 138(4), pp. 628–654. DOI:10.1037/a0027473.

Solovieva Y., Quintanar L. Qualitative neuropsychological assessment of children // 2nd International
Neuropsychological Summer School named after A. R. Luria “The World After the Pandemic:
Challenges and Prospects for Neuroscience”: Proceedings of Science School (Ekaterinburg, August
20–22, 2020). Ekaterinburg: Ural University Press, 2020, pp. 23-26.

Захарова М.Н., Мачинская Р.И. Возрастные изменения управляющих функций у детей...
Welsh M.C., Pennington B.F., Grossier P.B. A normative-developmental study of executive function.
Developmental Neuropsychology, 1991, Vol. 7, pp. 131-149. DOI:10.1080/87565649109540483.

Information about the authors

Zakharova M.N. Senior researcher, Laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, ul. Pogodinskaya, 8 / 2, 119121 Moscow, Russia.

E-mail: voronova-m@mail.ru

Machinskaya R.I. PhD in biology, ScD, Professor, Head of the laboratory of Neurophysiology of Cognitive Processes, Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, ul. Pogodinskaya, 8 / 2, 119121 Moscow, Russia.

E-mail: reginamachinskaya@gmail.com

To cite this article

Zakharova M.N. Machinskaya R.I. The development of executive functions in children aged 6-7 years. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2022, Vol. 15, No. 81, p. 6. <https://psystudy.ru>