



Check for updates

Статьи

УДК 159.9

EDN VCSFUZ

<https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-205-215>

Специфика тормозного контроля и рабочей памяти у подростков 15–17 лет

А. А. Жабина ^{✉1}, И. М. Деханова ¹

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 191186, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

Сведения об авторах

Анастасия Алексеевна Жабина,
e-mail: ami.tanaka@yandex.ru

Ирина Михайловна Деханова,
SPIN-код: 5942-5408,
ORCID: 0000-0003-2125-1397,
e-mail: irinadekhanova@yandex.ru

Для цитирования: Жабина, А. А., Деханова, И. М. (2025) Специфика тормозного контроля и рабочей памяти у подростков 15–17 лет. *Комплексные исследования детства*, т. 7, № 3, с. 205–215. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-205-215> EDN VCSFUZ

Получена 11 июня 2025, прошла рецензирование 29 июня 2025, принята 29 июня 2025.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: ©А. А. Жабина, И. М. Деханова. Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Аннотация. Исследование тормозного контроля и рабочей памяти у подростков 15–17 лет представляет собой чрезвычайно актуальное и важное направление в психолого-педагогической науке. Этот возрастной период, совпадающий с заключительной стадией школьного обучения, характеризуется интенсивным и динамичным развитием ключевых когнитивных способностей, которые в дальнейшем определяют успешность как академической деятельности, так и социальной адаптации индивида в целом. Пристальное внимание в представленной работе уделяется фундаментальной роли тормозного контроля и рабочей памяти, рассматриваемых как неотъемлемые компоненты более широких исполнительных функций. Именно эти функции отвечают за сложную регуляцию внимания, эффективное планирование действий и процессов, а также за принятие обоснованных решений в различных жизненных ситуациях. Подчеркивается неоспоримое значение данных исполнительных процессов для гармоничного формирования личной и академической зрелости подростков, что является краеугольным камнем их дальнейшего развития. Актуальность данного исследования дополнительно усиливается в связи с выявленной недостаточной изученностью специфических исполнительных функций, особенно у подростков, которые углубленно изучают иностранные языки, поскольку это накладывает дополнительные когнитивные нагрузки. В статье проводится всесторонний анализ как отечественных, так и зарубежных исследований, посвященных данной проблематике, что позволяет выявить существующие пробелы в знаниях и четко обозначить насущную потребность в дальнейшем, более глубоком анализе механизмов саморегуляции и когнитивной гибкости именно в указанной возрастной группе. Результаты работы могут быть весьма успешно использованы для разработки конкретных и действенных практических рекомендаций, направленных на целенаправленное развитие когнитивных навыков у подростков, а также для своевременной коррекции возможных нарушений. Это имеет исключительно высокую значимость в контексте стремительно меняющихся современных образовательных и социальных требований, предъявляемых к подрастающему поколению.

Ключевые слова: тормозный контроль, рабочая память, исполнительные функции, подростковый возраст, когнитивное развитие

Inhibitory control and working memory in adolescents aged 15–17

A. A. Zhabina ¹, I. M. Dekhanova ¹

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

Authors

Anastasia A. Zhabina,
e-mail: ami.tanaka@yandex.ru

Irina M. Dekhanova,
SPIN: 5942-5408,
ORCID: 0000-0003-2125-1397,
e-mail: irinadekhanova@yandex.ru

For citation: Zhabina, A. A., Dekhanova, I. M. (2025) Inhibitory control and working memory in adolescents aged 15–17. *Comprehensive Child Studies*, vol. 7, no. 3, pp. 205–215. <https://doi.org/10.33910/2687-0223-2025-7-3-205-215>
EDN VCSFUZ

Received 11 June 2025, reviewed 29 June 2025, accepted 29 June 2025.

Funding: The study did not receive any external funding.

Copyright: © A. A. Zhabina, I. M. Dekhanova (2025). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract. The study of inhibitory control and working memory in adolescents aged 15–17 is a relevant and significant area within contemporary psychological and educational research. This developmental stage, which often coincides with critical educational transitions, is marked by a rapid growth across a wide range of cognitive abilities that are essential for successful learning and social adaptation. This article examines the role of inhibitory control and working memory as core components of executive functions that regulate attention, planning, and decision-making. The study emphasizes the importance of these executive processes in harmoniously shaping adolescents' personal and academic maturity, which is a cornerstone of their subsequent development. The relevance of the study is further supported by the limited understanding of specific executive functions — especially in adolescents who are actively studying foreign languages, a context that requires increased cognitive effort. The article reviews both Russian and international studies in order to identify existing knowledge gaps and to highlight the need for more detailed research into self-regulation and cognitive flexibility in this age group. The findings can be used to develop practical recommendations aimed at strengthening adolescents' cognitive skills and addressing any possible cognitive deficits, which is particularly important in the context of modern educational and societal demands.

Keywords: inhibitory control, working memory, executive functions, adolescence, cognitive development

Теоретические основания исследования исполнительных функций в подростковом возрасте

Исполнительные функции представляют собой совокупность когнитивных механизмов, обеспечивающих регуляцию и контроль поведения, особенно в ситуациях, требующих адаптации, целенаправленного действия и подавления импульсивных реакций (Nikolaeva, Belousova 2018). Согласно Е. И. Николаевой и Е. Г. Вергунову (Николаева, Вергунов 2017), исполнительные функции включают регуляторные и исполнительные процессы, такие как концентрация внимания, планирование, адаптация к меняющимся условиям, целеполагание, удержание информации в рабочей памяти и самоконтроль, особенно в условиях стресса. Их реализация опирается на взаимодействие префронтальной коры, базальных ганглиев, а также структур лимбической системы, включая гиппокамп, амигдалу и поясную извилину, которые участвуют в инициации, контроле и регуляции поведения.

Качество функционирования исполнительных механизмов обусловлено степенью нейрофизиологического созревания мозга (Николаева, Брисберг 2020; Best, Miller 2010). Нарушения исполнительных функций нередко проявляются в виде импульсивности, трудностей с планированием и принятием решений, неорганизованности, а также проблем с эмоциональной регуляцией.

Ключевыми компонентами исполнительных функций являются тормозный контроль и рабочая память. Тормозный контроль — это «способность к саморегуляции, умение следовать инструкции, фокусироваться на выполнении задачи, сохранять устойчивое внимание, не отвлекаясь на посторонние стимулы» (Кузьмина и др. 2023).

Тормозный контроль понимают как совокупность специфических процессов — внимания, так и неспецифического — регуляции моторного порога, где внимание — это механизм, благодаря которому повышается качество обработки релевантной информации, а повышение моторного

порога позволяет подавлять нерелевантные моторные реакции (Чернышев и др. 2017).

Он реализуется через два механизма:

- 1) *специфический* — избирательное внимание, направленное на фильтрацию релевантной информации;
- 2) *неспецифический* — регуляция моторного порога, обеспечивающая подавление импульсивных реакций.

Современные концепции выделяют два механизма когнитивного контроля:

- 1) *дуальный механизм контроля*, включающий проактивный контроль (предотвращение ошибок через удержание значимой информации) и реактивный контроль (мобилизация ресурсов в ответ на ошибку) (Braver 2012);
- 2) *цикл восприятие-действие*, в котором мозг строит гипотезы, принимает решения и корректирует поведение на основе предыдущего опыта; префронтальная кора интегрирует сенсорные данные и накопленные знания, обеспечивая осознанное и гибкое поведение (Marks 2023).

Без надлежащего когнитивного контроля человек теряет способность эффективно решать задачи, поскольку внимание рассеивается, а цели остаются не достигнутыми. Тормозный контроль играет ключевую роль в принятии решений и успешной адаптации в сложных ситуациях, требующих сосредоточенности и дисциплины.

Рабочая память — это система кратковременного хранения и обработки информации, необходимой для решения текущих задач (Гаврилова, Чичина 2023). Она обеспечивает удержание и манипуляцию несколькими фрагментами данных одновременно, что важно для вычислений, логического мышления и повседневной ориентации (Malleret et al. 2024). Рабочая память также играет ключевую роль в обучении, планировании и когнитивной гибкости.

Как отмечают Е. И. Николаева и Е. Г. Вергунов (Николаева, Вергунов 2017), рабочая память объединяет элементы задачи в единую последовательность, позволяя удерживать и трансформировать их до завершения деятельности. После ее окончания информация, утратившая значимость, постепенно вытесняется, что оптимизирует использование когнитивных ресурсов.

В подростковом возрасте активно развивается логическая и рабочая память, особенно в период с 13 до 16 лет, когда наблюдается резкий рост объема усваиваемой информации, скорости запоминания и эффективности воспроизведения (Стародубцева и др. 2019). С воз-

растом происходит переход от преобладания памяти к доминированию мышления, а также интеграция различных форм запоминания (Грачева 2020).

Рабочая память подростков приближается по объему к взрослым значениям, но при высоких нагрузках точность воспроизведения у подростков еще не достигает уровня взрослых. Подростки лучше усваивают информацию, представленную в динамической форме, особенно если она вызывает эмоциональный отклик (Стародубцева и др. 2019).

Созревание когнитивного контроля связано с развитием префронтальной и теменной коры (Baum et al. 2017; Tamnes et al. 2010). Функциональная перестройка мозга, особенно в лобно-теменной сети, способствует улучшению исполнительных функций (Casey 2015; Fiske, Holmboe 2019). Исследования показывают, что подростки более чувствительны к вознаграждению, что может снижать уровень самоконтроля (Steinbeis 2023). В то же время наблюдается улучшение механизмов торможения, однако способность гибко регулировать тормозный контроль, как у взрослых, еще только формируется (Satterthwaite et al. 2013; Steinbeis 2023).

Таким образом, развитие памяти и когнитивного контроля в подростковом возрасте обусловлено нейробиологическим созреванием и требует учета при построении образовательных и поведенческих стратегий.

Методология исследования

В исследовании приняли участие 60 подростков возраста от 15 до 17 лет, из которых первая группа — 15 лет, вторая — 16 лет, третья — 17 лет.

Площадкой для исследования выступила ГБОУ школа № 375 с углубленным изучением английского языка Красносельского района Санкт-Петербурга.

Для диагностики общего невербального интеллекта подростков 15–17 лет применялся тест прогрессивных матриц Дж. Равена. Этот инструмент позволяет оценить такие когнитивные процессы, как зрительное восприятие, внимание, образное мышление и логический анализ. Задачи теста представлены в виде серий матриц с пропущенными элементами, требующими от испытуемого выявления логической закономерности. В исследовании использовалась оригинальная версия теста, включающая 60 заданий, разделенных на пять серий (А–Е) по уровню сложности.

С точки зрения нейрофизиологии, успешное выполнение теста требует активации дорсолатеральной префронтальной коры (рабочая память), префронтальных областей (планирование и контроль), теменной доли (пространственное мышление) и височных структур (анализ сложных визуальных форм). Таким образом, тест Дж. Равена является валидным инструментом для изучения нейрокогнитивных особенностей подростков.

Для оценки процессов памяти и интерференционного торможения использовалась компьютеризированная методика О. М. Разумниковой (Разумникова, Николаева 2020). Участникам предъявлялись объекты в случайном порядке с инструкцией: отмечать ранее невыбранный объект. Постепенно объем предъявляемой информации увеличивался, что позволяло оценить устойчивость внимания и нагрузку на рабочую память.

На нейрофизиологическом уровне методика активирует гиппокамп (формирование следов памяти), зрительную кору (перцепция объектов), а также лобно-теменные сети, участвующие в управлении вниманием и переработке растущего объема информации. Методика позволяет оценить динамику запоминания при усложняющихся условиях и выявить особенности когнитивной нагрузки у подростков.

Измерение когнитивного контроля и скорости реакции осуществлялось с помощью методики «РеБос» (Вергунов, Николаева 2009). Испытуемым предлагалось нажимать или не нажимать кноп-

ку в ответ на появление сигнала на экране. Методика включает два этапа с различным временем реакции, что позволяет дифференцировать уровни когнитивной нагрузки.

Процесс реагирования на стимул включает зрительную обработку (активация зрительной коры), принятие решения (лобные и префронтальные области) и реализацию моторного ответа (моторная кора). Методика эффективна для оценки когнитивного контроля, так как требует точного внимания и быстрого принятия решений, что позволяет зафиксировать ошибки и задержки в реакции на разных этапах задания.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием непараметрических методов. Для определения достоверности различий параметров в сравниваемых группах использовались критерии Краскала — Уоллиса (для трех и более групп) и Манна — Уитни (для двух выборок).

Результаты исследования

В таблице 1 представлены средние показатели методики «прогрессивные матрицы Дж. Равена».

Анализ данных таблицы 1 позволяет увидеть возрастное повышение уровня общего невербального интеллекта у подростков 15–17 лет. В 15 лет средний балл составил 79,8, что соответствует уровню «интеллект ниже среднего» по шкале Дж. Равена. Девушки демонстрировали несколько более высокие результаты

Табл. 1. Уровень невербального интеллекта у девушек и юношей разного возраста (среднее и стандартное отклонение)

Возраст	Вся выборка	Девушки	Юноши
15	79,8 ± 8	81 ± 6,7	78,2 ± 9,7
16	85,5 ± 6,3	86,9 ± 4	83,8 ± 8,2
17	89,2 ± 6,7	88,4 ± 10,2	89,4 ± 9,6
Н	14,49	5,85	7,52
Р	p < 0,05	p > 0,05	p > 0,05

Table 1. Nonverbal intelligence in female and male adolescents of different ages (mean and standard deviation)

Age	Total	Females	Males
15	79.8 ± 8	81 ± 6.7	78.2 ± 9.7
16	85.5 ± 6.3	86.9 ± 4	83.8 ± 8.2
17	89.2 ± 6.7	88.4 ± 10.2	89.4 ± 9.6
N	14.49	5.85	7.52
P	p < 0.05	p > 0.05	p > 0.05

по сравнению с юношами (81 и 78 баллов соответственно).

В 16 лет наблюдается рост среднего значения до 89,1 балла, что соответствует уровню «слабый, ниже среднего». Разница между полами становится менее выраженной (86,9 у девушек и 88,4 у юношей). В 17 лет средний балл составляет 89,2, при этом юноши показывают незначительное преимущество (89,4 против 88,4), но статистически значимые различия между полами в этом возрасте также отсутствуют ($p > 0,05$).

Таким образом, полученные данные подтверждают возрастную динамику невербального интеллекта: с увеличением возраста отмечается рост когнитивных показателей, что отражает постепенное развитие интеллектуальных способностей в подростковом возрасте ($p < 0,05$).

При анализе результатов компьютерного теста, направленного на оценку зрительной рабочей памяти, были определены объемы рабочей памяти в трех воспроизведениях и два механизма рабочей памяти. В таблицах 2 и 3 представлены средние показатели компьютеризированной методики О. М. Разумниковой.

Анализ объема рабочей памяти показал, что участники всех возрастных групп запоминали наибольшее количество объектов в первом воспроизведении. Во втором и третьем воспроизведениях наблюдалось последовательное снижение числа запомненных объектов, что можно расценить как проявление проактивной интерференции, указывающей на механизм забывания в процессе воспроизведения. Особенно выраженное снижение отмечено у 17-летних в третьей игре ($p < 0,001$).

Табл. 2. Объем рабочей памяти в трех воспроизведениях в целом по выборке (среднее и стандартное отклонение)

Возраст	Воспроизведение (число воспроизведенных стимулов)		
	1	2	3
15	14,6 ± 6,6	12 ± 7,8	10,3 ± 6,3
16	18 ± 7,3	9,8 ± 4,7	11,6 ± 6,4
17	15,5 ± 7,6	9,8 ± 5,1	9,4 ± 4,5
H	2,31	0,50	39,57
P	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,001^*$

Table 2. Working memory volume across three recall trials (mean and standard deviation)

Age	Number of recalled stimuli		
	Recall 1	Recall 2	Recall 3
15	14.6 ± 6.6	12 ± 7.8	10.3 ± 6.3
16	18 ± 7.3	9.8 ± 4.7	11.6 ± 6.4
17	15.5 ± 7.6	9.8 ± 5.1	9.4 ± 4.5
H	2.31	0.50	39.57
P	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.001^*$

Табл. 3. Объем рабочей памяти в трех воспроизведениях у девушек и юношей (среднее и стандартное отклонение) и время выполнения каждой серии (в мин.)

Возраст	Девушки				Юноши			
	Воспроизведение			Время выполнения	Воспроизведение			Время выполнения
	1	2	3		1	2	3	
15	15,4 ± 6,4	11,8 ± 6,5	10,6 ± 6,1	16,5 ± 3,0	13,6 ± 7,2	12,2 ± 9,8	10 ± 6,8	15,2 ± 0,21
16	18,0 ± 7,4	9,9 ± 4,9	10,6 ± 5,3	16,8 ± 4,0	18 ± 7,6	9,7 ± 4,7	12,7 ± 7,6	16,6,8 ± 4,2
17	17,2 ± 8,2	10,0 ± 6,0	7,0 ± 5,0	14,8 ± 6,6	15,0 ± 8,6	9,7 ± 5,8	10,2 ± 5,4	18,8 ± 3,8
H	5,23	1,51	9,44	13,9	1,28	0,05	0,71	0,71
P	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$	$p > 0,05$

Table 3. Working memory volume across three recall trials in female and male adolescents (mean and standard deviation) and the time of completion for each series (minutes)

Age	Females				Males			
	Recalls			Time	Recalls			Time
	1	2	3		1	2	3	
15	15.4 ± 6.4	11.8 ± 6.5	10.6 ± 6.1	16.5 ± 3.0	13.6 ± 7.2	12.2 ± 9.8	10 ± 6.8	15.2 ± 0.21
16	18.0 ± 7.4	9.9 ± 4.9	10.6 ± 5.3	16.8 ± 4.0	18 ± 7.6	9.7 ± 4.7	12.7 ± 7.6	16.6 ± 4.2
17	17.2 ± 8.2	10.0 ± 6.0	7.0 ± 5.0	14.8 ± 6.6	15.0 ± 8.6	9.7 ± 5.8	10.2 ± 5.4	18.8 ± 3.8
H	5.23	1.51	9.44	13.9	1.28	0.05	0.71	0.71
P	p > 0.05	p > 0.05	p < 0.05*	p < 0.05*	p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05	p > 0.05

Максимальное среднее время запоминания объектов зафиксировано у 16-летних подростков, минимальное — у 15-летних; 17-летние демонстрировали промежуточное время. Следовательно, чем быстрее испытуемые выполняли тест, тем больше ошибок делали.

Юноши 16 лет показали лучшие результаты в первом воспроизведении, но во втором и третьем их показатели снизились. У 15- и 17-летних юношей наблюдалась большая стабильность. Половые различия между возрастными группами статистически незначимы ($p > 0,05$).

У девушек 16 и 17 лет лучшие результаты зафиксированы в первом воспроизведении, у 15-летних — во втором. В третьем воспроизведении снижение объема памяти наиболее выражено у 17-летних. 16-летние девушки затратили на запоминание больше всего времени, в то время как 17-летние — значительно меньше, что статистически значимо ($p < 0,05$), однако более быстрое выполнение сопровождалось ухудшением результатов.

Таким образом, наибольший объем рабочей памяти продемонстрировали 16-летние подростки именно потому, что больше времени тратили на выполнение задания и делали его более тщательно. Учащиеся 15 лет тратили на запоминание меньше времени, а 17-летние показали наименее устойчивые результаты. Зафиксированное снижение объема воспроизведения во втором и третьем воспроизведении связано с интерференционным торможением — наложением новой информации на ранее запомненную. При этом рабочая память и тормозный контроль — независимые когнитивные процессы, как подтверждено рядом исследований (Davidson et al. 2006).

Девушки в возрасте 16 лет тратили на запоминание значительно больше времени, чем 17-летние, и это различие статистически значимо ($p < 0,05$). Однако ухудшение результатов в третьей игре у 17-летних свидетельствует, что

ускорение запоминания сопровождается снижением качества воспроизведения.

Половые различия в рабочих показателях памяти в 15 и 16 лет статистически незначимы. В 17 лет девушки запоминают больше объектов и делают это быстрее, чем юноши, но различия также не достигают статистической значимости.

Таким образом, подростки в 16 лет обладают наибольшим объемом рабочей памяти, несмотря на большие временные затраты. Учащиеся 9-х классов демонстрируют наименьшие временные затраты, а 17-летние — наименьшие результаты в воспроизведении. Независимо от возраста все участники демонстрируют закономерное снижение запоминания от первой к третьей игре, что подтверждает работу интерференционного механизма.

Отметим, что существует два независимых процесса рабочей памяти: интерференционное торможение — снижение объема информации из-за наложения ранее усвоенного материала и обучение через воспроизведение, при котором формируется более точное запоминание (Davidson et al. 2006).

Полученные данные в таблице 5 показывают, что в 15 и 17 лет обучение как следствие воспроизведения у девушек ниже, чем у юношей, тогда как в 16 лет значимых различий между полами не выявлено. Это может свидетельствовать о более выраженных обучающих механизмах у юношей, особенно в 15 и 17 лет. При этом показатели интерференционного торможения не различаются между полами, что указывает на схожую работу механизмов забывания. Таким образом, у юношей процессы обучения и забывания в рабочей памяти, вероятно, более сбалансированы, обеспечивая эффективное воспроизведение, тогда как у девушек может преобладать проактивная интерференция, затрудняющая запоминание.

В ходе выполнения простой и сложной сенсорных реакций по методике «РеБос»

Табл. 4. Механизмы рабочей памяти у девушек и юношей 15–17 лет (в %)

Возраст	Интерференционное торможение (%)		Обучение в процессе воспроизведения (%)	
	Девушки	Юноши	Девушки	Юноши
15	90	100	54	90*
16	90	77	36	55
17	100	100	20	66*

Примечание: * — различие между данными юношей и девушек с уровнем значимости ($p < 0,05$).

Table 4. Mechanisms of working memory in female and male adolescents aged 15–17 years (%)

Age	Interference inhibition (%)		Learning based on recalls (%)	
	Females	Males	Females	Males
15	90	100	54	90*
16	90	77	36	55
17	100	100	20	66*

Note: * — difference between males and females ($p < 0.05$).

Табл. 5. Показатели простой сенсомоторной реакции у юношей и девушек (среднее и стандартное отклонение)

Возраст	Время реакции (мс)			Число пропусков		
	Вся группа	Девушки	Юноши	Вся группа	Девушки	Юноши
15	360 ± 43,5	365,1 ± 52	353,8 ± 30,3*	3,1 ± 2,6	2,0 ± 2,0	4,5 ± 2,9
16	272,5 ± 26,8	272,3 ± 23,5	272,7 ± 31,8*	4,5 ± 3	4,7 ± 2,6	4,2 ± 3,7
17	256,6 ± 12,9	248,5 ± 14,3	259,3 ± 17,8*	3,3 ± 1,4	4,5 ± 0,5	3 ± 2,1
H	38,27	19,73	17,74	2,65	5,27	1,08
P	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p < 0,05^*$	$p > 0,005$	$p > 0,05$

Table 5. Parameters of the simple sensorimotor reaction in male and female adolescents (mean and standard deviation)

Age	Reaction time (ms)			Number of omissions		
	Total group	Females	Males	Total group	Females	Males
15	360 ± 43.5	365.1 ± 52	353.8 ± 30.3*	3.1 ± 2.6	2.0 ± 2.0	4.5 ± 2.9
16	272.5 ± 26.8	272.3 ± 23.5	272.7 ± 31.8*	4.5 ± 3	4.7 ± 2.6	4.2 ± 3.7
17	256.6 ± 12.9	248.5 ± 14.3	259.3 ± 17.8*	3.3 ± 1.4	4.5 ± 0.5	3 ± 2.1
H	38.27	19.73	17.74	2.65	5.27	1.08
P	$p < 0.05^*$	$p < 0.05^*$	$p < 0.05^*$	$p < 0.05^*$	$p > 0.005$	$p > 0.05$

(Вергунов, Николаева 2009) была исследована зрелость тормозного контроля у подростков 15–17 лет. В простой сенсомоторной реакции участники обучались реагировать на все стимулы (разноцветные кружки), тогда как в сложной реакции требовалось подавлять ответ на определенный стимул (красный кружок). Это позволило оценить уровень сформированности тормозного контроля. Средние результаты представлены в таблице 6.

Как показали данные, различия в ошибках и времени реакции между подростками 15, 16 и 17 лет являются статистически значимыми ($p < 0,05$). С возрастом время реакции сокращается: у девушек — с $365,1 \pm 52$ мс в 15 лет до $248,5 \pm 14,3$ мс в 17 лет, у юношей — с $353,8 \pm 30,3$ мс до $259,3 \pm 17,8$ мс соответственно. Это говорит о возрастании скорости обработки стимулов.

При этом наименьшее число ошибок совершают 15-летние, хотя работают они медленнее.

Табл. 6. Показатели сложной сенсомоторной реакции у юношей и девушек (среднее и стандартное отклонение)

Возраст	Девушки			Юноши		
	Время реакции (мс)	Пропуски	Ошибки	Время реакции (мс)	Пропуски	Ошибки
15	376,9 ± 48,6	16,2 ± 6,9	374,6 ± 55,2	379,7 ± 42,3*	16,2 ± 6,9	17,6 ± 4,9
16	333 ± 34,4	20,3 ± 11,3	329,9 ± 41,8	336,5 ± 26*	20,3 ± 11,3	18,6 ± 9,7
17	323,2 ± 32,2	17,1 ± 5,7	333,4 ± 21,4	319,8 ± 78,5	17,1 ± 5,7	16,4 ± 6
H	12,48	1,31	4,14	8,06	1,50	0,26
P	p < 0,05*	p > 0,05	p > 0,05	p < 0,05*	p > 0,05*	p > 0,05

Table 6. Parameters of the complex sensorimotor reaction in male and female adolescents (mean and standard deviation)

Age	Females			Males		
	Reaction time (ms)	Omissions	Mistakes	Reaction time (ms)	Omissions	Mistakes
15	376.9 ± 48.6	16.2 ± 6.9	374.6 ± 55.2	379.7 ± 42.3*	16.2 ± 6.9	17.6 ± 4.9
16	333 ± 34.4	20.3 ± 11.3	329.9 ± 41.8	336.5 ± 26*	20.3 ± 11.3	18.6 ± 9.7
17	323.2 ± 32.2	17.1 ± 5.7	333.4 ± 21.4	319.8 ± 78.5	17.1 ± 5.7	16.4 ± 6
H	12.48	1.31	4.14	8.06	1.50	0.26
P	p < 0.05*	p > 0.05	p > 0.05	p < 0.05*	p > 0.05*	p > 0.05

Девушки 15 лет демонстрируют более медленную, но точную работу по сравнению с юношами. Больше всего ошибок допускают 16-летние, несмотря на высокую скорость. В 17 лет точность улучшается — количество ошибок снижается, но все еще выше, чем у 15-летних.

Таким образом, с возрастом реакция ускоряется, но это сопровождается увеличением числа ошибок, особенно у 16-летних.

Согласно полученным данным, с возрастом среднее время реакции уменьшается, что указывает на повышение скорости реагирования. При этом точность демонстрирует нелинейную динамику: в 16 лет число ошибок возрастает (20,3 ± 11,3), а к 17 годам снижается (17,1 ± 5,7), что может свидетельствовать о стабилизации когнитивно-моторных навыков.

В 15 лет девушки реагируют быстрее и точнее юношей. В 16 лет девушки сохраняют преимущество по скорости, но юноши совершают меньше ошибок. К 17 годам юноши демонстрируют рост как скорости, так и точности реакции.

Таким образом, с возрастом тормозный контроль, отраженный в числе ошибок и пропусков в сложной сенсомоторной реакции, улучшается, при этом в 16 лет может наблюдаться временное снижение точности, которое к 17 годам компенсируется.

Выводы

С возрастом улучшаются показатели тормозного контроля и рабочей памяти. В большинстве показателей исполнительных функций не отмечается различий между юношами и девушками.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Авторы заявляют о соответствии исследования этическим принципам.

Ethics Approval

The authors declare that the study complies with all applicable ethical principles

Литература

- Вергун, Е. Г., Николаева, Е. И. (2009) Опыт применения методов визуализации в качественном анализе результатов тайм-теста. *Мир науки, культуры, образования*, № 7-2 (19), с. 128–131.
- Гаврилова, М. Н., Чичина, Е. А. (2023) Динамика развития рабочей памяти у детей в возрасте с 5 до 7 лет в период социальной изоляции: роль экранного времени и количества детей в семье. *Вестник СПбГУ. Психология*, т. 13, вып. 3, с. 396–410. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2023.307>
- Грачева, И. А. (2020) Особенности развития различных видов памяти у школьников в Республике Беларусь. В кн.: Д. Я. Грибанова (ред.). *Актуальные проблемы развития личности в современном обществе. Материалы Международной научно-практической конференции*. Псков: Изд-во Псковского государственного университета, с. 105–109.
- Кузьмина, Ю. В., Авдеева, С. М., Тарасова, К. В. и др. (2023) Цифровая грамотность, когнитивный контроль и использование цифровых устройств детьми. *Психологическая наука и образование*, т. 28, № 4, с. 81–97. <https://doi.org/10.17759/pse.2023280405>
- Николаева, Е. И., Брисберг, Т. Л. (2020) Специфика исполнительных функций дошкольников с разными латеральными предпочтениями. *Герценовские чтения: психологические исследования в образовании*, вып. 3, с. 492–500. <https://doi.org/10.33910/herzenpsyconf-2020-3-80>
- Николаева, Е. И., Вергун, Е. Г. (2017) Что такое “executive functions” и их развитие в онтогенезе. *Теоретическая и экспериментальная психология*, т. 10, № 2, с. 62–81.
- Разумникова, О. М., Николаева, Е. И. (2020) Возрастные и половые различия в формировании тормозного контроля в процессе обучения запоминанию. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена*, № 195, с. 89–95. <https://doi.org/10.33910/1992-6464-2020-195-89-95>
- Стародубцева, О. В., Нестерова, Н. А., Макарова, А. Н. (2019) Развитие памяти подростков на уроках географии. В кн.: *Наука молодых — будущее России: сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 8 т. Т. 3*. Курск: Изд-во Юго-Западного государственного университета, с. 240–243.
- Чернышев, Б. В., Новиков, Н. А., Нурисламова, Ю. М. и др. (2017) Мозговые механизмы когнитивного контроля: электроэнцефалографическое исследование с применением частотно-временного анализа. В кн.: *Материалы XXIII съезда Физиологического общества им. И. П. Павлова с международным участием*. Воронеж: Истоки, с. 983–985.
- Baum, G. L., Ciric, R., Roalf, D. R. et al. (2017) Modular segregation of structural brain networks supports the development of executive function in youth. *Current Biology*, vol. 27, no. 11, pp. 1561–1572. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.051>
- Best, J. R., Miller, P. H. (2010) A developmental perspective on executive function. *Child Development*, vol. 81, no. 6, pp. 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Braver, T. S. (2012) The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010>
- Casey, B. J. (2015) Beyond simple models of self-control to circuit-based accounts of adolescent behavior. *Annual Review of Psychology*, vol. 66, pp. 295–319. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015156>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., Diamond, A. (2006) Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, vol. 44, no. 11, pp. 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Fiske, A., Holmboe, K. (2019) Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review*, vol. 52, pp. 42–62. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2019.100866>
- Malleret, G., Salin, P., Mazza, S., Plancher, G. (2024) Working memory forgetting: Bridging gaps between human and animal studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 163, article 105742. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105742>
- Marks, D. F. (2023) The action cycle theory of perception and mental imagery. *Vision*, vol. 7, no. 1, article 12. <https://doi.org/10.3390/vision7010012>
- Nikolaeva, E. I., Belousova, L. V. (2018) Personality as moderator of aging effects on inhibition functions and brain activity. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 131, no. S, p. S96.
- Satterthwaite, T. D., Wolf, D. H., Erus, G. et al. (2013) Functional maturation of the executive system during adolescence. *Journal of Neuroscience*, vol. 33, no. 41, pp. 16249–16261. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2345-13.2013>
- Steinbeis, N. (2023) A rational account of cognitive control development in childhood. *Annual Review of Developmental Psychology*, vol. 5, no. 1, pp. 217–238. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-120221-040058>
- Tamnes, C. K., Østby, Y., Walhovd, K. B. et al. (2010) Neuroanatomical correlates of executive functions in children and adolescents: A magnetic resonance imaging (MRI) study of cortical thickness. *Neuropsychologia*, vol. 48, no. 9, pp. 2496–2508. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.04.024>

References

- Baum, G. L., Ciric, R., Roalf, D. R. et al. (2017) Modular segregation of structural brain networks supports the development of executive function in youth. *Current Biology*, vol. 27, no. 11, pp. 1561–1572. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.051> (In English)
- Best, J. R., Miller, P. H. (2010) A developmental perspective on executive function. *Child Development*, vol. 81, no. 6, pp. 1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x> (In English)
- Braver, T. S. (2012) The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.010> (In English)
- Casey, B. J. (2015) Beyond simple models of self-control to circuit-based accounts of adolescent behavior. *Annual Review of Psychology*, vol. 66, pp. 295–319. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015156> (In English)
- Chernyshev, B. V., Novikov, N. A., Nurislamova, Yu. M. et al. (2017) Mozgovye mekhanizmy kognitivnogo kontrolya: elektroentsefalograficheskoe issledovanie s primeneniem chastotno-vremennogo analiza [Brain mechanisms of cognitive control: Electroencephalographic study with the use of time-frequency analysis]. In: *Materialy XXIII s'ezda Fiziologicheskogo obshchestva im. I. P. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem [Proceedings of the XXIII Congress of the I. P. Pavlov Physiological Society with international participation]*. Voronezh: Istoki Publ., pp. 983–985. (In Russian)
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., Diamond, A. (2006) Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, vol. 44, no. 11, pp. 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006> (In English)
- Fiske, A., Holmboe, K. (2019) Neural substrates of early executive function development. *Developmental Review*, vol. 52, pp. 42–62. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2019.100866> (In English)
- Gavrilova, M. N., Chichinina, E. A. (2023) Dinamika razvitiya rabochej pamyati u detej v vozraste s 5 do 7 let v period sotsial'noj izolyatsii: rol' ekrannogo vremeni i kolichestva detej v sem'e [Work memory development dynamics in children aged 5 to 7 in a period of social isolation: The role of screen time and the number of children in the family]. *Vestnik SPbGU. Psikhologiya — Vestnik of Saint Petersburg University. Psychology*, vol. 13, no. 3, pp. 96–410. <https://doi.org/10.21638/spbu16.2023.307> (In Russian)
- Gracheva, I. A. (2020) Osobennosti razvitiya razlichnykh vidov pamyati u shkol'nikov v Respublike Belarus' [Features of the development of various types of memory in schoolchildren in the Republic of Belarus]. In: D. Ya. Gribanova (ed.) *Aktual'nye problemy razvitiya lichnosti v sovremennom obshchestve. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Current issues of personality development in modern society. Proceedings of the International scientific and practical conference]*. Pskov: Pskov State University Publ., pp. 105–109. (In Russian)
- Kuzmina, Y. V., Avdeeva, S. M., Tarasova, K. V. et al. (2023) Tsifrovaya gramotnost', kognitivnyj kontrol' i ispol'zovanie tsifrovyykh ustrojstv det'mi [Digital literacy, cognitive control and student use of digital devices]. *Psikhologicheskaya nauka i obrazovanie — Psychological Science and Education*, vol. 28, no. 4, c. 81–97. <https://doi.org/10.17759/pse.2023280405> (In Russian)
- Malleret, G., Salin, P., Mazza, S., Plancher, G. (2024) Working memory forgetting: Bridging gaps between human and animal studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 163, article 105742. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105742> (In English)
- Marks, D. F. (2023) The action cycle theory of perception and mental imagery. *Vision*, vol. 7, no. 1, article 12. <https://doi.org/10.3390/vision7010012> (In English)
- Nikolaeva, E. I., Brisberg, T. L. (2020) Spetsifika ispolnitel'nykh funktsij doshkol'nikov s raznymi lateral'nymi predpochteniyami [Executive functions of preschool children with different lateral preferences]. *Gertsenovskie chteniya: psikhologicheskie issledovaniya v obrazovanii*, no. 3, c. 492–500. <https://doi.org/10.33910/herzenpsyconf-2020-3-80> (In Russian)
- Nikolaeva, E. I., Vergunov, E. G. (2017) Chto takoe “executive functions” i ikh razvitie v ontogeneze [Executive functions and their development in ontogenesis]. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psikhologiya — Theoretical and Experimental Psychology*, vol. 10, no. 2, pp. 62–81. (In Russian)
- Nikolaeva, E. I., Belousova, L. V. (2018) Personality as moderator of aging effects on inhibition functions and brain activity. *International Journal of Psychophysiology*, vol. 131, no. 5, p. S96. (In English)
- Razumnikova, O. M., Nikolaeva, E. I. (2020) Vozrastnie i polovie razlichiya v formirovanii tormoznogo kontrolya v protsesse obucheniya zapominaniyu [Age and gender differences in the development of inhibitory control associated with learning to memorise]. *Izvestiya Rossiiskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A. I. Gertsena — Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*, no. 195, pp. 89–95. <https://doi.org/10.33910/1992-6464-2020-195-89-95> (In Russian)
- Satterthwaite, T. D., Wolf, D. H., Erus, G. et al. (2013) Functional maturation of the executive system during adolescence. *Journal of Neuroscience*, vol. 33, no. 41, pp. 16249–16261. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2345-13.2013> (In English)
- Starodubtseva, O. V., Nesterova, N. A., Makarova, A. N. (2019) Razvitie pamyati podrostkov na urokakh geografii [Development of adolescents' memory in geography lessons]. In: *Nauka molodykh — budushchee Rossii: sbornik*

- nauchnykh statej 4-j Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh: v 8 t. T. 3 [Science of the young is the future of Russia: A collection of scientific articles from the 4th International scientific conference of promising developments of young scientists: In 8 vols. Vol. 3].* Kursk: Southwest State University Publ., pp. 240–243. (In Russian)
- Steinbeis, N. (2023) A rational account of cognitive control development in childhood. *Annual Review of Developmental Psychology*, vol. 5, no. 1, pp. 217–238. <https://doi.org/10.1146/annurev-devpsych-120221-040058> (In English)
- Tamnes, C. K., Østby, Y., Walhovd, K. B. et al. (2010) Neuroanatomical correlates of executive functions in children and adolescents: A magnetic resonance imaging (MRI) study of cortical thickness. *Neuropsychologia*, vol. 48, no. 9, pp. 2496–2508. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.04.024> (In English)
- Vergunov, E. G., Nikolaeva, E. I. (2009) Opyt primeneniya metodov vizualizatsii v kachestvennom analize rezul'tatov tajm-testa [The application visualization methods experience in the qualitative time-test results analysis]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, no. 7-2 (19), pp. 128–131. (In Russian)