

Обзорная статья | Review paper

Проблема развития исполнительных функций в процессе когнитивных и физических упражнений в современных зарубежных исследованиях

Р.В. Тихомиров ✉

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Российская Федерация

✉ Roma.987p@yandex.ru

Резюме

Контекст и актуальность. В статье предпринята попытка проанализировать ряд современных зарубежных исследований, которые вносят существенный вклад в понимание проблемы развития исполнительных функций — ключевого компонента саморегуляции, включающего торможение, рабочую память и когнитивную гибкость. **Цель.** Систематизация и обсуждение данных о том, какие существуют актуальные подходы к развитию исполнительных функций. **Результаты.** Выделены два направления исследований, посвященных методам повышения показателей исполнительных функций. Первое направление связано с изучением влияния когнитивных упражнений на исполнительные функции. Второе направление связано с влиянием двигательной активности на исполнительные функции. В том числе в работе представлены результаты анализа исследований, рассматривающих возможность развития исполнительных функций в результате сочетания физической и когнитивной активности, а также данные, подтверждающие роль современных технологических средств, обеспечивающих тренировку когнитивных способностей. **Выводы.** Актуальные данные свидетельствуют о том, что гипотеза о взаимосвязи между физической активностью и исполнительными функциями подтверждается, однако характер связи между ними остается неизвестным. Предполагается, что включение когнитивных задач в программы физического воспитания позволит объединить два основных метода развития исполнительных функций.

Ключевые слова: исполнительные функции, когнитивная тренировка, физические упражнения, саморегуляция, когнитивные функции

Для цитирования: Тихомиров, Р.В. (2026). Проблема развития исполнительных функций в процессе когнитивных и физических упражнений в современных зарубежных исследованиях. *Современная зарубежная психология*, 15(1), 153–161. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2026150114>

The problem of the development of executive functions in modern foreign studies

R.V. Tikhomirov ✉

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation

✉ Roma.987p@yandex.ru

Abstract

Context and relevance. The article attempts to analyze a number of modern foreign studies that make a significant contribution to understanding the problem of executive function development, a key component of self-regulation, including inhibition, working memory, and cognitive flexibility. **Goal.** Systematization and discussion of data on what relevant approaches exist to the development of executive functions. **Results.** There are two areas of research devoted to methods of improving executive function indicators. The first area is related to the study of the effect of cognitive exercises on executive functions. The second direction is related to the influence of motor activity on executive functions. Among other things, the paper presents the results of an analysis of studies considering the possibility of developing executive functions as a result of a combination of physical and cognitive activity, as well as data confirming the role of modern technological tools that ensure the training of cognitive abilities. **Conclusions.** Current evidence suggests that the hypothesis of a relationship between physical activity and executive functions is confirmed, but the nature of the relationship between them remains unknown. It is assumed that

the inclusion of cognitive tasks in physical education programs will allow combining two main methods of executive function development.

Keywords: executive functions, cognitive training, physical exercises, self-regulation, cognitive functions

For citation: Tikhomirov, R.V. (2026) The problem of the development of executive functions in modern foreign studies. *Journal of Modern Foreign Psychology*, 15(1), 153—161. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/jmfp.2026150114>

Понятие и структура исполнительных функций, их роль в жизни человека

Способность контролировать мысли и действия значительно различается у представителей *Homo sapiens*. Поведение некоторых индивидов в значительной мере детерминировано импульсами, что приводит к снижению эффективности регуляции поведения. Саморегуляция формируется с раннего детства и может быть предиктором множества показателей здоровья, уровня жизни и преступности на протяжении многих десятилетий жизни (Moffitt et al., 2011). Известно, что уровень саморегуляции связан с академическими результатами у детей независимо от показателей общего интеллекта, в частности, он является значимым коррелятом как ранних математических способностей, так и способностей, связанных с чтением (Blair, Razza, 2007). Исследователи тем самым подтверждают тезис о том, что показатели саморегуляции в большей степени, чем IQ или социально-экономический статус, обладают прогностической силой в отношении благосостояния и качества жизни в зрелом возрасте (Diamond, 2013). Когнитивным источником поведенческой саморегуляции являются исполнительные функции, которые Ф. Моррисон и коллеги связывают с реализацией и проявлением когнитивных процессов в поведении (Morrison, Ponitz, McClelland, 2010).

С позиции когнитивной психологии, исполнительные функции можно определить как семейство сходных, но разделимых когнитивных процессов, образующих систему контроля. Основной функцией данной системы является осуществление регуляции психических функций низшего уровня и обеспечение выработки адаптивных когнитивно-поведенческих схем, лежащих в основе целенаправленного поведения (Friedman et al., 2008; Perrotta, 2019). Традиционная структура исполнительных функций включает тормозной контроль (торможение), рабочую память (обновление) и когнитивную гибкость. Предполагается, что тормозной контроль служит центральной опорой всей системы исполнительных функций, обеспечивая способность человека достигать когнитивных целей путем подавления преобладающих реакций, которые не соответствуют актуальной задаче (Miyake et al., 2000). Рабочая память в данной концепции рассматривается как подсистема, обеспечивающая выполнение когнитивных задач. Она обеспечивает возможность оперировать информацией, непосредственно не представленной в вос-

приятии. Когнитивная гибкость, в свою очередь, заключается в переключении между задачами и может рассматриваться, с одной стороны, как отдельный феномен, а с другой — как результат взаимодействия торможения и рабочей памяти, тем самым представляя собой податливую форму контроля, которая адаптируется к изменениям в контексте окружающей среды (Wei et al., 2024).

На данный момент, целесообразно выделить два направления экспериментальных программ, связанных с повышением показателей исполнительных функций. К ним относят исследования, связанные с изучением эффекта когнитивных и физических упражнений (Diamond, 2013; Ishihara et al., 2021). Данные направления отличаются множеством опубликованных данных в систематических обзорах и метаанализах. Показано, что эффективность применения программ, направленных на развитие исполнительных функций, зависит от исходного значения их показателей. Применительно к программам, основанным на двигательной активности, предполагается, что целенаправленная физическая активность обуславливает «оздоровление» и способствует нормальному функционированию организма. Однако, по-видимому, эффект ограничен и не является стимулирующим фактором в случае высоких когнитивных показателей (Diamond, Lee, 2011), аналогично с когнитивными упражнениями, которые могут сгладить эффект когнитивной депривации, характеризующейся сниженным уровнем когнитивной стимуляции во время сензитивных периодов развития, но их эффект также ограничен (Thompson, Steinbeis, 2020).

Исследования, связанные с изучением эффекта когнитивных упражнений на исполнительные функции

Существуют основания полагать, что деятельность человека, его опыт и профессия приводят к структурным изменениям мозговой активности. Как правило, причиной тому служит специфика когнитивной деятельности, составляющей наиболее значительный период жизни человека. Изменения наблюдаются и в префронтальной коре, а значит, сказываются, в том числе, и на исполнительных функциях (Au et al., 2015). Систематический обзор Д. Рейндерс и коллег, оценивающий эффективность когнитивных тренировок, показал, что они

связаны с улучшением различных показателей когнитивных процессов: производительности памяти, исполнительных функций, скорости обработки информации, внимания и флюидного интеллекта (Reijnders, van Heugten, van Boxtel, 2013).

В этой связи наиболее перспективной методикой когнитивной тренировки может являться применение вычислительного мышления, включающего семейство мыслительных операций, связанных с использованием вычислительных шагов и алгоритмов в решении задач. Предполагается, что обучение вычислительному мышлению, помимо улучшения навыков работы с компьютером, улучшает и исполнительные функции. Данная гипотеза соответствует теоретическим разработкам, поскольку исполнительные функции и вычислительное мышление основаны на совпадающих когнитивных и нейронных процессах. Выводы Робледо-Кастро и коллег позволяют подтвердить, что применение вычислительного мышления обеспечивает прирост результатов в показателях визуально-пространственной рабочей памяти, когнитивного торможения и последовательного мышления. Однако в показателях вербальной рабочей памяти и визуально-пространственного планирования изменений не выявлено (Robledo-Castro, Hederich-Martínez, Castillo-Ossa, 2023).

Оперирование двумя языками в течение всей жизни также рассматривается в качестве своеобразной когнитивной тренировки. Однако продолжаются дебаты относительно того, как и в какой степени практика попеременного пользования двумя языками влияет на исполнительные функции. Многочисленные публикации показывают, что билингвы испытывают замедленное когнитивное старение по сравнению с монолингвами, однако также опубликованы работы, в которых подобный эффект не был выявлен (Antoniou, 2019). Актуальные результаты исследования А. Юртсевера и коллег позволяют подтвердить положительное влияние двуязычия на исполнительные функции, но нельзя не отметить некоторые методологические проблемы. Предполагается, что когнитивно-стимулирующие виды деятельности (обучение, игра на музыкальном инструменте, владение двумя языками) приводят к изменениям в нейропластичности, однако их эффект может накладываться друг на друга и, как следствие, маскироваться, если у испытуемого наблюдается разнообразный жизненный опыт в результате нескольких причин (Yurtsever, Anderson, Grundy, 2023). Предполагается, что эффект билингвизма варьируется в зависимости от возраста, и сложнее всего он обнаруживается у молодых людей, чьи когнитивные способности, включая исполнительные функции, находятся на пике — «эффекте потолка». Особенно это наблюдается при использовании недостаточно чувствительных методов тестирования когнитивных функций (Antoniou, 2019).

Исследования, связанные с изучением эффекта физических упражнений на исполнительные функции

Идея связи двигательных и когнитивных способностей уходит корнями в теорию Ж. Пиаже о том, что сенсорные и моторные процессы играют важную роль в развитии интеллекта и лежат в основе первой стадии развития мышления (Piaget, 1952). В совокупности актуальные данные исследований позволяют утверждать, что гипотеза о взаимосвязи между двигательными навыками, физической активностью, когнитивными способностями и академическими результатами подтверждается, однако конкретные взаимосвязи между этими элементами остаются неясными (Zhou, Tolmie, 2024). Стоит отметить, что, несмотря на то что основные физиологические преимущества физических упражнений описаны и систематизированы, связь применяемых программ физических упражнений с результатами когнитивной деятельности не является убедительной. В том числе отсутствует единая концепция, признанная в научном сообществе, которая интегрировала бы актуальные эмпирические данные из различных областей нейронауки. Как правило, исследователи ограничиваются данными о том, что двигательное и когнитивное развитие неразрывно связаны, предлагая некоторые гипотезы, раскрывающие причины и следствия этих отношений.

Рассматривая результаты исследований о влиянии физической активности на основные структурные элементы исполнительных функций, стоит отметить противоречия в данных. В качестве примера приведем заключения из некоторых актуальных публикаций. С. Хсиех и коллеги утверждают, что когнитивные преимущества, обусловленные однократными высокоинтенсивными интервальными тренировками, связаны с функцией торможения, как у детей, так и у взрослых. Положительное влияние регулярных высокоинтенсивных интервальных тренировок исследователи наблюдали в отношении функций торможения и рабочей памяти преимущественно у детей (Hsieh et al., 2021). В свою очередь, результаты С. Лиу и коллег свидетельствуют о том, что однократные и регулярные упражнения стимулируют развитие функций, связанных не только с торможением, но и с рабочей памятью и когнитивной гибкостью (Liu et al., 2020).

Также важным является вопрос о продолжительности и характере физической активности, оказывающей наибольший эффект на исполнительные функции (Ho et al., 2024). И. Вей и коллеги, изучая влияние физической активности на улучшение исполнительных функций у детей, показали, что наиболее выраженный эффект наблюдается при продолжительности физической активности свыше 12 недель и варьируется в зависимости от модулирующих переменных (Wei et al., 2024). Аналогичные исследования также позволяют заключить, что эффективные про-

граммы когнитивного развития характеризуются значительным периодом физической активности, а также связаны с высокой частотой и продолжительностью сеансов двигательных упражнений.

Рассматривая данные о влиянии характера физической активности, в первую очередь стоит отметить, что целенаправленное изучение новых и координационно трудных упражнений, вероятно, имеет более выраженный эффект на когнитивное развитие по сравнению с циклическими повторяющимися упражнениями (Ishihara et al., 2021). Фенг-Тзу Чен и коллеги на выборке пожилых людей получили данные о том, что для развития исполнительных функций предпочтительно, применительно к недельному циклу, использовать тренировочные сессии продолжительностью 3—4 раза в неделю. Исследователи отмечают, что частота тренировок 1—2 раза в неделю характеризуется меньшей эффективностью (Chen et al., 2020).

Однако некоторые полученные данные позволяют сделать важные выводы: показано, что положительный эффект физической активности на исполнительные функции выражен сильнее у испытуемых с более низкими результатами в когнитивных задачах до начала тестирования (Chen et al., 2024a). Т. Ишихара и коллеги отмечают, что несмотря на то, что более трети включенных в анализ исследований не смогли обнаружить благоприятного воздействия одновременных аэробных упражнений на исполнительные функции, суммарная совокупность исследовательских данных свидетельствует о том, что гипотеза подтверждается (Ishihara et al., 2021). В соответствие с этим, особое значение имеет целенаправленное использование физической активности для развития исполнительных функций, когда диагностирован когнитивный дефицит.

Х. Чен и коллеги, в свою очередь, представили данные о значимом влиянии спортивных игр на когнитивные функции у детей с выраженным и всесторонним дефицитом социального взаимодействия и общения. После восьми недель вмешательства у детей с аутизмом наблюдались улучшение показателей исполнительных функций и значительные изменения нейронной активности во время решения задач в префронтальной коре, а также увеличение функциональной связности областей мозга в состоянии покоя после программы физических упражнений по сравнению с состоянием до вмешательства. Отметим, что исполнительная дисфункция является распространенной проблемой у детей с диагнозом расстройства аутистического спектра, что подчеркивает роль целенаправленного воздействия на ее развитие (Chen et al., 2024b).

В этой связи использование физических упражнений имеет значительный положительный эффект для пожилых людей. Показано, что исполнительные функции и двигательные навыки взаимосвязаны на протяжении всего процесса старения и часто демонстрируют одновременное ухудшение у пожилых людей с когни-

тивными нарушениями (Embon-Magal et al., 2022). Важно отметить, что полученные данные для этой возрастной категории наиболее убедительно свидетельствуют о том, что физическая активность обуславливает рост показателей всех элементов структуры исполнительных функций: торможения, рабочей памяти и когнитивной гибкости.

Физиологическое обоснование влияния физической активности на когнитивные способности связано с изменением структуры и функций мозга. Предполагается, что физическая активность приводит к увеличению объема гиппокампа и базальных ганглиев, а также является фактором большей целостности белого вещества (Larson, 2020). Вероятной причиной является улучшенный мозговой кровоток, стимулирующий нейрогенез, синаптогенез и ангиогенез. Исследователи отмечают, что связь между выживанием, дифференцировкой, ростом нейронов и увеличением кровотока во время сердечно-сосудистых упражнений обусловлена высвобождением нейротрофического фактора мозга (BDNF) (de Vargas et al., 2017). BDNF также улучшает синаптическую связь и передачу данных, изменяя морфологию постсинаптических нейронов (De Nys et al., 2022). Даже один сеанс упражнений средней и высокой интенсивности повышает уровень BDNF в областях, связанных с обучением и памятью. После однократной интенсивной физической нагрузки уровень BDNF увеличивается на короткий период времени, что исследователи связывают с повышением уровня возбуждения, внимания и воли, а также с эффективностью выполнения когнитивных задач (Kashihara et al., 2009). К. Кашихара и др. также отмечают, что зависимость может носить U-образный характер: умеренные физические нагрузки улучшают когнитивные функции, а упражнения высокой интенсивности, превышающей оптимальную, снижают работоспособность. Оптимальная интенсивность физических упражнений для когнитивных функций может быть тесно связана с анаэробным порогом (Kashihara et al., 2009).

Б.М. Оспина и Н. Кадавид-Руис свидетельствуют о том, что 30-минутная физическая нагрузка высокой или средней интенсивности оказывает различный эффект в зависимости от уровня физической активности испытуемых. Исследователи приводят данные о том, что регулярные занятия спортом у молодых людей связаны с регистрацией более низкого уровня выработки и высвобождения BDNF в сыворотке крови по сравнению с молодыми людьми с выраженной гиподинамией. Предполагается, что более высокий уровень физической подготовки может быть связан с улучшением чувствительности к BDNF и BDNF-TrkB (Ospina, Cadavid-Ruiz, 2024). Б.М. Оспина и Н. Кадавид-Руис также отмечают, что физические упражнения могут стимулировать переход BDNF через гематоэнцефалический барьер, что объясняет снижение периферических уровней BDNF у лиц, регулярно занимающихся умеренными кардионагрузками. По их мнению, одним

из наиболее сложных для интерпретации (из-за противоречивых данных предыдущих исследований) является модулирующая роль возраста, пола и состояния здоровья. В работе исследователей подробно анализируются исследования с противоречивыми выводами (Ospina, Cadavid-Ruiz, 2024).

Рассматривая влияние физических упражнений на исполнительные функции, также важно остановиться на их косвенной взаимосвязи. Во-первых, наблюдается высокий потенциал физической активности как средства регуляции настроения. Специалисты показали, что повышение уровня ежедневной физической активности у студентов оказывает влияние на снижение интенсивности отрицательных эмоций, что является фактором уменьшения уровня тревоги и стресса, в результате чего наблюдается улучшение психологического благополучия и, как следствие, увеличение показателей исполнительных функций (Ren et al., 2024). Двухнаправленная связь в свою очередь, обеспечивает увеличение эффекта, так как рост показателей эффективности также способствует таким позитивным эмоциям, как оптимизм, надежда, удовлетворение от достижений.

Во-вторых, важным модератором связи является фактор сна. Его низкое качество вместе с высокими показателями гиподинамии являются одними из самых больших факторов риска снижения когнитивных функций, связанных с образом жизни. К. Севелл и коллеги отмечают, что сон и физическая активность влияют на исполнительные функции как через общие, так и отдельные пути. Исследователи предполагают, что физическая активность может смягчить некоторые негативные последствия низкого качества сна для когнитивной функции и, таким образом, может быть эффективной терапевтической стратегией улучшения познавательных функций (Sewell et al., 2021).

В-третьих, физическая активность является неотъемлемой частью поведенческих паттернов, оказывающих позитивное влияние на развитие исполнительных функций. В частности, в дошкольном возрасте косвенное влияние двигательной активности может быть обусловлено ее включением в игровую деятельность. Подвижные игры — важный элемент ведущей деятельности дошкольников, что определяет интерес к изучению роли движений в когнитивном развитии (Wei et al., 2024).

Исследования, связанные с изучением влияния синергии физических и когнитивных упражнений на исполнительные функции

К перспективным средствам развития исполнительных функций относят программы физического воспитания, ядром которых является эффект сопряженного воздействия когнитивных и физических упражнений. Предполагается, что интеграция когни-

тивных задач в программы физического воспитания позволит объединить два основных метода развития исполнительных функций, что ценно с позиции практического применения инновационных программ физического воспитания в образовательных учреждениях. Фан Мао и коллеги подтверждают тезис о том, что сопряженное воздействие когнитивной и физической активности оказывает небольшое, но значимое положительное влияние на исполнительные функции у детей и подростков, особенно на тормозной контроль (Mao et al., 2024). Преимуществом двигательно-когнитивной тренировки с включенными когнитивными задачами является стимуляция нескольких сенсорных систем (благодаря выполнению когнитивных и двигательных задач в один и тот же момент времени) (Herold et al., 2018).

Представлены данные о том, что образовательная среда, в которой обучающийся решает когнитивно-сложные задачи в процессе двигательной активности, имеет более выраженный эффект на прирост исполнительных функций по сравнению с повторяющимися, однотипными упражнениями. Это стимулирует исследователей к изучению синергии когнитивных и физических упражнений. П. Калока и коллеги показали, что двигательная активность, сопряженная с ситуацией выбора, необходимостью решения проблемных задачи и реакцией на изменяющиеся стимулы более эффективна для стимулирования исполнительных функций. В частности, школьники, участвовавшие в физических играх с описанными выше характеристиками, получили более высокие баллы в решении когнитивных задач, чем те, кто участвовал в занятиях по футболу или легкой атлетике (Kaloka et al., 2024).

Исследователи также делают важное замечание о том, что активность, связанная с новыми упражнениями, обуславливает повышенный интерес у обучающихся, таким образом, предполагается, что они в большей степени вовлекаются как в физическую активность, так и в когнитивную деятельность, которая ее сопровождает. Соответственно, это может сказываться на увеличении развивающего эффекта данных упражнений.

Ф. Хэрولد и др. предлагают классифицировать двигательно-когнитивные упражнения по двум категориям: (I) последовательное двигательно-когнитивное упражнение (двигательная и когнитивная тренировка проводятся с разницей во времени) и (II) одновременное двигательно-когнитивное упражнение. В частности, одновременные двигательно-когнитивные упражнения предлагается подразделять на две категории. Если успешное решение когнитивной задачи не связано с выполнением моторно-когнитивной задачи, этот тип исследователи называют моторно-когнитивной тренировкой с дополнительной когнитивной задачей (IIa). Напротив, если решение когнитивной задачи является необходимым для решения моторно-когнитивной задачи, такой тип указывается как моторно-когнитивная тренировка с включенной

когнитивной задачей (Пб). Как отмечают исследователи, интеграция когнитивных задач в двигательные упражнения является наиболее многообещающей, и она более эффективна по сравнению с отдельной тренировкой когнитивных и физических функций (Herold et al., 2018).

Социальное взаимодействие также является важным фактором, оказывающим как прямое, так и косвенное влияние на формирование исполнительных функций. Прогнозирование поведения, проявление эмпатии, анализ намерений непосредственно связаны с работой исполнительных функций. Совместные действия, которые способствуют формированию социальной общности и предъявляют познавательные задачи, также обладают значительной эффективностью в повышении мотивации и удовольствия от игровой деятельности, что обуславливает формирование устойчивого интереса к игровым взаимодействиям и обеспечивает большие когнитивные преимущества (Wei et al., 2024).

На данный момент все популярнее становится применение видеоигр, направленных на проявление физически активных действий, что обуславливает активное развитие фиджитал-технологий (Aminov et al., 2018). С учетом простоты их использования в клинических или домашних условиях и относительно низких затрат, данные методы могут оптимизировать использование ресурсов здравоохранения. Решение когнитивных задач с применением технологий виртуальной реальности имеет несколько преимуществ по сравнению с обычным применением компьютерных программ. Технологии виртуальной реальности позволяют создавать когнитивные задачи, вовлекающие более широкий спектр исполнительных функций, обеспечивая возможность их решения с помощью двигательных действий. Фиджитал-технологии в том числе имеют более высокий потенциал создания увлекательных упражнений, ориентированных на пациента, с учетом относительно недорогих затрат на их разработку и применение в системе здравоохранения. Основным технологическим преимуществом служит мультисенсорная обратная связь, которая позволяет создавать приближенные к реальности задачи с возможностью их многократного решения (Wei et al., 2024).

Актуальные исследования свидетельствуют о том, что применение средств виртуальной реальности является эффективной формой организации двигательных когнитивных задач для улучшения исполнительных функций и увеличения физических кондиций. Данная технология хорошо переносится и принимается пожилыми людьми с когнитивными дефицитами, о чем свидетельствует высокая посещаемость занятий и незначительные симптомы VR-болезни. Однако долгосрочные эффекты их применения на уровне повседневной жизни остаются неясными (Kwan et al., 2024).

Заключение

Мы обсудили вопрос о том, какие проблемы развития исполнительных функций рассматриваются в современных зарубежных исследованиях. На данный момент целесообразно выделить два основных направления исследований, изучающих методы развития исполнительных функций. Первое направление связано с изучением эффекта влияния когнитивных упражнений на исполнительные функции. Предполагается, что наиболее перспективной методикой когнитивной тренировки может стать применение вычислительного мышления, включающего семейство мыслительных операций, которые связаны с использованием вычислительных шагов и алгоритмов в решении задач. Актуальной проблемой также является применение современных технологических средств, обеспечивающих тренировку когнитивных способностей. В частности, ведется активная работа над использованием технологии виртуальной реальности, как средства вовлечения множества сенсорных систем в решение когнитивных задач. Второе направление исследует влияние физических упражнений на исполнительные функции. Среди ключевых параметров, определяющих положительный эффект, выделяются продолжительность и характер активности, а также исходный уровень когнитивных показателей. Физиологический механизм влияния физической активности исследователи связывают со структурными изменениями в мозге, возникающими в результате повышенной выработки BDNF. Кроме того, положительный эффект физических упражнений может быть опосредован улучшением настроения, качества сна и формированием положительных поведенческих паттернов.

Перспективным направлением в развитии исполнительных функций является подход, предполагающий сопряжение физической и когнитивной активности. Включение когнитивных задач в программы физического воспитания позволяет объединить два основных метода развития исполнительных функций, что ценно для практического применения в образовательных учреждениях. Ключевым фактором эффективности является не простое сочетание, а интеграция в формате одновременного выполнения, когда двигательное действие непосредственно связано с решением когнитивной задачи. Перспективным инструментом для реализации такого подхода становятся фиджитал-технологии и VR, позволяющие создавать комплексные, вовлекающие и адаптивные среды.

Ограничения.

Данное исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, варьируются параметры двигательной активности (длительность, интенсивность, тип упражнений), методы оценки исполнительных функций и характеристики выборок. Это ограничивает возмож-

ность прямого сопоставления результатов исследований и проведения количественного анализа данных. Во-вторых, значительная часть исследований сосредоточена на краткосрочных эффектах когнитивных и физических тренировок, тогда как долгосрочные эффекты остаются недостаточно изученными. В-третьих, в литературе, включённой в анализ, отсутствует единая концептуальная модель, интегрирующая различные механизмы влияния физической и когнитивной активности на исполнительные функции. Разрозненность теоретических подходов затрудняет интерпретацию результатов. В-четвёртых, выборка исследований преимущественно представлена детскими и пожилыми возрастными группами, а также выборками с когнитивными нарушениями. Данные о развитии исполнительных функций у здоровых взрослых представлены фрагментарно.

Limitations.

This study has several limitations. First, the parameters of motor activity (duration, intensity, type of exercise), methods of evaluating executive functions, and characteristics of samples vary. This limits the possibility of direct comparison of research results and quantitative data analysis. Secondly, much of the research focuses on the short-term effects of cognitive and physical training, while the long-term effects remain poorly understood. Thirdly, there is no single conceptual model in the literature included in the analysis that integrates the various mechanisms of the influence of physical and cognitive activity on executive functions. The disparity of theoretical approaches makes it difficult to interpret the results. Fourth, the research sample is predominantly represented by children and the elderly, as well as samples with cognitive impairments. Data on the development of executive functions in healthy adults are presented fragmentally.

Список источников / References

1. Aminov, A., Rogers, J.M., Middleton, S., Caeyenberghs, K., Wilson, P.H. (2018). What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 15, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0370-2>
2. Antoniou, M. (2019). The advantages of bilingualism debate. *Annual Review of Linguistics*, 5, 395—415. <https://doi.org/10.1146/annurev-linguistics-011718-011820>
3. Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G.J., Buschkuhl, M., Jaeggi, S.M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22, 366—377. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0699-x>
4. Blair, C., Razza, R.P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, 78(2), 647—663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
5. Chen, F.-T., Etnier, J.L., Chan, K.-H., Chiu, P.-K., Hung, T.-M., Chang, Y.-K. (2020). Effects of exercise training interventions on executive function in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50, 1451—1467. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01292-x>
6. Chen, H., Cheng, M.-C., Sun, Y., Zhu, Y.-Q., Sun, L.-X., Zhang, Y.-X., Feng, B.-B., Wu, G.-C. (2024a). Dose-response relationship between physical activity and frailty: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10(13), Article e33769. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33769>
7. Chen, H., Liang, Q., Wang, B., Liu, H., Dong, G., Li, K. (2024b). Sports game intervention aids executive function enhancement in children with autism — An fNIRS study. *Neuroscience Letters*, 822, Article 137647. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2024.137647>
8. De Nys, L., Anderson, K., Ofose, E.F., Ryde, G.C., Connelly, J., Whittaker, A.C. (2022). The effects of physical activity on cortisol and sleep: A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, 143, Article 105843. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105843>
9. de Vargas, L.S., Neves, B.S.D., Roehrs, R., Izquierdo, I., Mello-Carpes, P. (2017). One-single physical exercise session after object recognition learning promotes memory persistence through hippocampal noradrenergic mechanisms. *Behavioural brain research*, 329, 120—126. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.04.050>
10. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135—168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
11. Diamond, A., Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959—964. <https://doi.org/10.1126/science.1204529>
12. Embon-Magal, S., Krasovsky, T., Doron, I., Asraf, K., Haimov, I., Gil, E., Agmon, M. (2022). The effect of co-dependent (thinking in motion [TIM]) versus single-modality (CogniFit) interventions on cognition and gait among community-dwelling older adults with cognitive impairment: A randomized controlled study. *BMC geriatrics*, 22, Article 720. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03403-x>
13. Friedman, N.P., Miyake, A., Young, S.E., DeFries, J.C., Corley, R.P., Hewitt, J.K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201—225. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>

14. Herold, F., Hamacher, D., Schega, L., Miller, N.G. (2018). Thinking while moving or moving while thinking — concepts of motor-cognitive training for cognitive performance enhancement. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, Article 364696. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00228>
15. Ho, B.D., Gullett, J.M., Anton, S., Franchetti, M.K., Bharadwaj, P.K., Raichlen, D.A., Alexander, G.E., Rundek, T., Levin, B., Visscher, K., Woods, A.J., Cohen, R.A. (2024). Associations between physical exercise type, fluid intelligence, executive function, and processing speed in the oldest-old (85+). *Geroscience*, 46, 491—503. <https://doi.org/10.1007/s11357-023-00885-4>
16. Hsieh, S.-S., Chueh, T.-Y., Huang, C.-J., Kao, S.-C., Hillman, C.H., Chang, Y.-K., Hung, T.-M. (2021). Systematic review of the acute and chronic effects of high-intensity interval training on executive function across the lifespan. *Journal of Sports Sciences*, 39(1), 10—22. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1803630>
17. Ishihara, T., Drollette, E.S., Ludyga, S., Hillman, C.H., Kamijo, K. (2021). The effects of acute aerobic exercise on executive function: A systematic review and meta-analysis of individual participant data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 128, 258—269. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.06.026>
18. Kaloka, P.T., Nopembri, S., Yudianto, Y., Elumalai, G. (2024). Improvement of executive function through cognitively challenging physical activity with nonlinear pedagogy in elementary schools. *Retos*, 51, 673—682. <https://doi.org/10.47197/retos.v51.101024>
19. Kashihara, K., Maruyama, T., Murota, M., Nakahara, Y. (2009). Positive effects of acute and moderate physical exercise on cognitive function. *Journal of Physiological Anthropology*, 28(4), 155—164. <https://doi.org/10.2114/jpa2.28.155>
20. Kwan, R.Y.C., Liu, J., Sin, O.S.K., Fong, K.N.K., Qin, J., Wong, J.C.Y., Lai, C. (2024). Effects of virtual reality motor-cognitive training for older people with cognitive frailty: Multicentered randomized controlled trial. *Journal of medical Internet research*, 26, Article e57809. <https://doi.org/10.2196/57809>
21. Larson, C. (2020). How exercise impacts the brain and cognition. In: *Biology and Microbiology Graduate Students Plan B Research Projects* (Vol. 28). Brookings: South Dakota State University. URL: https://openprairie.sdstate.edu/biomicro_plan-b/28 (viewed: 12.03.2026).
22. Liu, S., Yu, Q., Li, Z., Cunha, P.M., Zhang, Y., Kong, Z., Lin, W., Chen, S., Cai, Y. (2020). Effects of acute and chronic exercises on executive function in children and adolescents: A systemic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 11, Article 554915. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.554915>
23. Mao, F., Huang, F., Zhao, S., Fang, Q. (2024). Effects of cognitively engaging physical activity interventions on executive function in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1454447. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1454447>
24. Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex «Frontal Lobe» tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49—100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
25. Moffitt, T.E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R.J., Harrington, H., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B.W., Ross, S., Sears, M.R., Thomson, W.M., Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 108(7), 2693—2698. <https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108>
26. Morrison, F.J., Ponitz, C.C., McClelland, M.M. (2010). Self-regulation and academic achievement in the transition to school. In: S.D. Calkins, M.A. Bell (Eds.), *Child development at the intersection of emotion and cognition* (pp. 203—224). Washington: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12059-011>
27. Ospina, B.M., Cadavid-Ruiz, N. (2024). The effect of aerobic exercise on serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and executive function in college students. *Mental Health and Physical Activity*, 26, Article 100578. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2024.100578>
28. Perrotta, G. (2019). Executive functions: Definition, contexts and neuropsychological profiles. *Journal of Neuroscience and Neurological Surgery*, 4(3). <https://doi.org/10.31579/2578-8868/077>
29. Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International University.
30. Reijnders, J., van Heugten, C., van Boxtel, M. (2013). Cognitive interventions in healthy older adults and people with mild cognitive impairment: A systematic review. *Ageing research reviews*, 12(1), 263—275. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.07.003>
31. Ren, Y., Chu, J., Zhang, Z., Luo, B. (2024). Research on the effect of different aerobic activity on physical fitness and executive function in primary school students. *Scientific Reports*, 14, Article 7956. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58009-7>
32. Robledo-Castro, C., Hederich-Martinez, C., Castillo-Ossa, L.F. (2023). Cognitive stimulation of executive functions through computational thinking. *Journal of Experimental Child Psychology*, 235, Article 105738. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105738>
33. Sewell, K.R., Erickson, K.I., Rainey-Smith, S.R., Peiffer, J.J., Sohrabi, H.R., Brown, B.M. (2021). Relationships between physical activity, sleep and cognitive function: A narrative review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 130, 369—378. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.09.003>

34. Thompson, A., Steinbeis, N. (2020). Sensitive periods in executive function development. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 36, 98—105. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2020.08.001>
35. Wei, Y., Wang, L., Tang, Y., Deng, H., Su, J., Li, Q. (2024). Enhancing young children's executive function through physical activities: A three-level meta-analysis. *Mental Health and Physical Activity*, 26, Article 100592. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2024.100592>
36. Yurtsever, A., Anderson, J.A.E., Grundy, J.G. (2023). Bilingual children outperform monolingual children on executive function tasks far more often than chance: An updated quantitative analysis. *Developmental Review*, 69, Article 101084. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2023.101084>
37. Zhou, Y., Tolmie, A. (2024). Associations between gross and fine motor skills, physical activity, executive function, and academic achievement: Longitudinal findings from the UK millennium cohort study. *Brain Sciences*, 14(2), Article 121. <https://doi.org/10.3390/brainsci14020121>

Информация об авторе

Роман Владимирович Тихомиров, аспирант, преподаватель кафедры теории и методики физического воспитания, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3066-5965>, e-mail: Roma.987p@yandex.ru

Information about the author

Roman V. Tikhomirov, postgraduate student, lecturer at the Department of Theory and Methodology of Physical Education, Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3066-5965>, e-mail: Roma.987p@yandex.ru

Поступила в редакцию 05.12.2024

Поступила после рецензирования 09.10.2025

Принята к публикации 13.11.2025

Опубликована 30.03.2026

Received 2024.12.05

Revised 2025.10.09

Accepted 2025.11.13

Published 2026.03.30