

УДК 796.011.2

Влияние физической нагрузки различной интенсивности на когнитивные способности студентов

Роман В. Тихомиров¹, Сергей М. Гузь²

¹ *Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия*

E-mail: Roma.987p@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3066-5965>

² *Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия*

E-mail: fjk-s.m.guz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3254-2950>

DOI: 10.26907/esd.19.3.12

EDN: VGZRNE

Дата поступления: 22 января 2024; Дата принятия в печать: 25 июня 2024

Аннотация

В течение последних лет широко обсуждается вопрос о влиянии двигательной активности на когнитивные способности студентов. Показано, что физические упражнения активируют молекулярные системы, участвующие в метаболизме и синаптической пластичности, а взаимодействие между этими системами связано с интеллектуальными показателями.

Перед научным сообществом стоит задача найти оптимум физической активности, который будет способствовать гармоничному развитию и повышению эффективности академической деятельности. Цель исследования заключалась в изучении влияния различных режимов физической активности на динамику показателей когнитивных способностей у студентов мужского и женского пола.

В процессе педагогического эксперимента студенты были распределены на 2 группы в соответствии с определённым режимом физической активности: занятия в экспериментальной группе включали упражнения высокой интенсивности, а занятия в контрольной группе включали в основном упражнения низкой интенсивности. Измерение когнитивных способностей производилось до и после двух месяцев педагогического эксперимента. Для оценки когнитивных способностей использовался тест «Стандартные матрицы Равена» (SPM).

Результаты исследования показали, что прирост показателей когнитивных способностей у студентов экспериментальной группы статистически достоверен, в отличие от контрольной группы. В то же время не удалось выявить достоверных различий влияния А-режима и В-режима физической нагрузки на динамику изменения переменных теста SPM. Полученные данные в первую очередь полезны в контексте дальнейших исследований, так как показывают специалистам, занимающимся изучением и развитием интеллектуальных способностей обучающихся, возможность воздействия на них и направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: физическое воспитание в университете, когнитивные способности студентов, физическая активность.

The Effect of Physical Activity of Varying Intensity on Students' Cognitive Abilities

Roman Tikhomirov¹, Sergey Guz²

¹ Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

E-mail: Roma.987p@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3066-5965>

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

E-mail: ffk-s.m.guz@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3254-2950>

DOI: 10.26907/esd.19.3.12

EDN: VGZRNE

Submitted: 22 January 2024; Accepted: 25 June 2024

Abstract

There is increasing evidence that physical activity positively affects cognitive function. Physical exercise activates molecular systems involved in metabolism and synaptic plasticity, and the interaction between these systems has been shown to influence cognitive function.

The challenge for the scientific community is to find an optimal level of physical activity for students that will promote harmonious development and enhance the effectiveness of their academic performance. This article highlights the influence of various intensities of physical activity on the dynamics of intelligence indicators in male and female students. In the process of the pedagogical experiment, the students were distributed into two groups according to a certain mode of physical activity. The classes in the experimental group included exercises of high intensity, while the classes in the control group included mainly exercises of low intensity.

Intellectual abilities were measured before and after 2 months of the pedagogical experiment. The Raven's Standardized Performance Matrices (SPM) test was used to assess intellectual abilities.

The results of the study showed that the increase in intelligence indicators in the students of the experimental group is statistically significant, in contrast to the control group. At the same time, it was not possible to identify significant differences using ANOVA.

The obtained data are useful in the context of further research, as they show specialists engaged in the study and development of the cognitive abilities of students, different possibilities of influence and a certain range in the organization of further.

Keywords: physical education at university, cognitive abilities of students, physical activity.

Введение

Влияние двигательной активности на когнитивные способности представителей различных возрастных и социокультурных групп является предметом исследовательского интереса во множестве зарубежных работ (Álvarez-Bueno et al., 2017; Gavelin et al., 2021; Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Haverkamp et al., 2020; Sanders et al., 2020; Sember et al., 2020;), однако в отечественной практике представленное направление развивается относительно медленно. Заявленное в настоящей работе исследование способствует накоплению отечественных эмпирических данных и представляет ценность в контексте формирования образовательного процесса, отвечающего требованиям эффективного усвоения знаний, умений, навыков.

В рамках поставленной проблемы основное внимание в научной литературе уделяется тому, как аэробные нагрузки различной интенсивности, продолжительностью от 16 до 35 минут, влияют на исполнительные функции. За пределами этого узкого фокуса наблюдается дефицит литературы (Pontifex et al., 2019). В текущем исследовании получены данные о влиянии физической активности на способность

к нахождению сходств и различий в представляемом стимульном материале, что дополняет популярные нейропсихологические исследования, классические исследованиями интеллекта.

Перейдем к рассмотрению актуальных исследований влияния физической активности на когнитивные способности. По мнению З. И. Биргалиевой, Е. А. Волковой и др. (Bergalieva & Volkova, 2022), регулярные занятия физической культурой и спортом могут играть одну из ключевых и решающих ролей в развитии человеческого тела и разума, особенно в молодом возрасте. Физическая активность может улучшить умственные способности студентов во время их обучения и повысить эффективность, с которой они учатся и решают интеллектуальные задачи в повседневной жизни.

О. Ю. Кузнецов, Г. С. Петрова и др. (Kuznetsov & Petrova, 2013) в своей работе представили аналогичные выводы: интеллектуальная и физическая деятельность человека на уровне отделов мозга, руководящих ею, находится в самой тесной взаимосвязи, что позволяет говорить об объективной возможности стимулировать интеллектуальную активность человека путём физической работы. В таком случае, в образовательном процессе студентов физическая активность по отношению к интеллектуальной должна иметь превентивный, а не догоняющий характер. В соответствии с этим исследователи поставили следующую гносеологическую задачу педагогической науки: найти тот объем нормированных физических нагрузок, который будет разумно необходим для повышения эффективности учебной деятельности.

Результаты эмпирического исследования А. В. Кабачковой (Kabachkova, 2023) показали, что наиболее высокие показатели успеваемости наблюдаются у студентов со средним уровнем физической активности. Полученные данные подтвердили опосредованное влияние индивидуального уровня двигательной активности на успешность обучения и послужили основанием для дополнения и уточнения схемы влияния двигательной активности студентов на успешность их образовательной деятельности.

Кроме того, Л. В. Капилевич, Г. С. Ежова и др. (Kapilevich et al., 2019) установили, что характер физической активности оказывает существенное влияние на показатели церебральной гемодинамики и биоэлектрическую активность головного мозга. Происходящие при этом физиологические перестройки в свою очередь модифицируют состояние когнитивных функций. Данными авторами также представлены результаты, описывающие воздействие физической активности различного характера: в частности, активность циклического характера положительно влияет на когнитивные функции, тогда как при нагрузках силового характера подобные эффекты не регистрировались.

И. В. Фекличева, Н. А. Чипеева и др. (Feklicheva et al., 2020b) на основании анализа литературы сделали вывод о наличии взаимосвязи между функциональной связанностью различных отделов мозга и уровнем интеллектуальных способностей. В результате применения сетевого подхода к анализу связанности мозговой активности эти исследователи описали новые закономерности глобальных характеристик мозговой активности, связанных с вовлеченностью в активную физическую деятельность. Показано, что у молодых людей, регулярно занимающихся физической активностью более 3-х часов в неделю, функциональная связанность мозга выше, чем у людей того же возраста, не занимающихся физической активностью, по такому показателю, как коэффициент кластеризации. Функциональная связанность рассматривается как характеристика отношений между анатомически различными, пространственно близкими или удаленными областями мозга, кото-

рые взаимодействуют через спонтанную или вызванную синхронизацию для реализации сложной психической функции.

Обратимся к актуальным зарубежным исследованиям. R. M. F. Silva, C. R. Mendonça и др. (Silva et al., 2022) обобщили фактические данные о барьерах, которые влияют на физическую активность студентов и школьников. Их исследование показали, что основные препятствия физической активности были связаны со следующими аспектами: психологическими (отсутствие мотивации); социокультурными (отсутствие социальной поддержки) и материально-техническими (отсутствие доступных мест). Среди прочего наиболее часто упоминаемым препятствием физической активности у студентов была такая причина, как нехватка времени.

Результаты систематических обзоров и мета-анализов позволяют утверждать, что физическая активность напрямую связана с когнитивными функциями у лиц молодого и среднего возраста. В работе E. P. Cox, N. O'Dwyer и др. (Cox et al., 2016) показано, что в подавляющем числе публикаций с высоким уровнем организации исследования подтверждается значительная положительная связь между двигательной активностью и исполнительской функцией.

Одно из наиболее актуальных исследований представлено X. Zhai, M. Ye и др. (Zhai et al., 2022). В нем показано, что студенты с высоким уровнем физической подготовки имеют более высокий уровень успеваемости с учетом влияния демографических переменных и образа жизни. С одной стороны, студенты с хорошей аэробной подготовкой с большей вероятностью достигают лучших показателей успеваемости за счёт улучшения когнитивных функций, с другой – обучающиеся с более высоким уровнем успеваемости могут быть лучше ориентированы на успех в различных видах деятельности, что обуславливает их высокие показатели развития физических качеств.

Важное значение имеет взаимодействие физической активности с другими факторами развития когнитивных функций. E. Sepdanius, S. K. Harefa и др. (Sepdanius et al., 2023) выявили наличие корреляционной взаимосвязи между эмоциональным интеллектом, качеством сна и физической активностью. Для рассматриваемой проблемы особое значение имеет следующая закономерность: чем выше интенсивность физической активности, тем выше эмоциональный интеллект. Обучающиеся, которые часто занимаются физической активностью, лучше адаптируются к окружающей среде, понимают собственные аффективные состояния, эффективно распознают эмоции, способны мотивировать себя.

Несмотря на корпус эмпирических исследований и массив выявленных закономерностей, количественные и качественные характеристики воздействия физической активности на интеллект остаются неясными. В частности, предстоит выяснить, является ли физическая нагрузка причиной различий, или же люди, которые предпочитают заниматься физическими упражнениями априори имеют более высокие показатели когнитивных способностей.

В настоящее время выделяют три основных механизма, которые обуславливают влияние физической активности на когнитивные способности: это психологические, физиологические и поведенческие факторы (Lubans et al., 2016).

Во-первых, физическая активность влияет на когнитивные способности и психическое здоровье посредством изменений структуры и функций мозга. В работе C. Larson (Larson, 2020) подробно описано, как физические упражнения могут способствовать нейропластичности, в частности, повышение притока крови к различным областям коры головного мозга увеличивает синтез таких нейротрансмиттеров, как серотонин, норадреналин и ацетилхолин.

Другая причина нейропластичности заключается в увеличении синтеза и высвобождении нейротрофического фактора мозга, или BDNF. BDNF – это белок, который способствует выживанию, дифференцировке и росту нейронов. BDNF улучшает синаптическую связь и передачу данных, изменяя морфологию постсинаптических нейронов (De Nys et al., 2022).

Во-вторых, физическая активность связана с улучшением психологического благополучия путём удовлетворения основных потребностей в социальных контактах, автономии, самооценке и достижениях в учёбе.

D. Lubans, J. Richards и др. (Lubans et al., 2016) указывают, что физические упражнения способствуют снижению риска развития различных психических расстройств, причём эффект пропорционален объёму упражнений. Рандомизированные и перекрестные клинические исследования демонстрируют эффективность аэробных или силовых тренировок (2-4 месяца) для снижения симптомов депрессии. Хотя физические упражнения, по-видимому, оказывают как профилактическое, так и терапевтическое воздействие на течение депрессии, механизмы, лежащие в их основе, изучены недостаточно.

В-третьих, участие в физической активности улучшает качество сна, влияя на его продолжительность и эффективность засыпания. L. de Nys, K. Anderson и др. (De Nys et al., 2022) показали, что усталость, нарушения сна и депрессивные симптомы могут быть результатом нарушения регуляции кортизола – ключевого биомаркера стресса. В частности, было показано, что значимый эффект наблюдается у взрослых с нарушением психического состояния здоровья.

При этом, как показывает анализ литературы, не решены многие методологические проблемы. В частности, F. O'Callaghan, M. O'Callaghan и др. (O'Callaghan et al., 2012) указывают, что дизайн актуальных исследований не позволяет заключить, что физическая активность приводит к развитию когнитивных способностей: остаётся высокая вероятность того, что наличие развитых когнитивных способностей выступает фактором высоких показателей двигательной активности студентов.

E. P. Cox, N. O'Dwyer и др. (Cox et al., 2016) отмечают проблемы в систематизации и обработке данных результатов исследований, так как на данный момент существует большое разнообразие когнитивных тестов, препятствующих проведению сравнений. В 14 проанализированных авторами исследования в общей сложности было представлено 32 различных теста для оценки исполнительных функций, 10 тестов для оценки памяти и 8 – для оценки скорости обработки данных.

На основании вышеперечисленного, цель настоящего исследования заключалась в получении и анализе данных о влиянии различных режимов физической активности на динамику показателей интеллекта у студентов мужского и женского пола.

С учётом предполагаемой программы исследования были выдвинуты две гипотезы:

– гипотеза 1. Преимущественное применение средств физического воспитания высокой интенсивности (на пульсе в диапазоне 150-165 ударов в минуту) позволит добиться достоверного повышения интеллекта у студентов. Применение же в качестве средств физической подготовки в основном нагрузок низкой интенсивности (на пульсе в диапазоне 130-150 ударов в минуту) не приведет к достоверному развитию когнитивных способностей обучающихся;

– гипотеза 2. Взаимодействие факторов «экспериментальная/контрольная группа» x «период тестирования» влияет на значения теста SPM.

Методология

В естественном педагогическом эксперименте приняли участие 48 студентов Петрозаводского государственного университета, не имеющих по состоянию здоровья противопоказаний к физической нагрузке. Обучающиеся были разделены на 2 группы – контрольную и экспериментальную. До и после организации цикла занятий по физической культуре производилось тестирование когнитивных способностей, связанное с нахождением сходств и различий.

Отличия в организации занятий по физической культуре студентов контрольной и экспериментальной групп представлены ниже.

Экспериментальная группа. Основную часть занятий составлял А-режим, предусматривающий преимущественное выполнение упражнений с высокой интенсивностью физической нагрузки. Занятия были организованы в рамках шестидневной учебной недели и включали 2 занятия по физической культуре в неделю. Содержание занятий составляла аэробная активность циклического характера: объём и интенсивность упражнений были подобраны таким образом, чтобы после выполнения комплекса упражнений, приведённых ниже, среднее значение частоты сердечных сокращений (ЧСС) составляло 150-165 ударов в минуту. При этом к следующему комплексу упражнений студенты приступали при ЧСС в диапазоне 100-120 ударов в минуту. Структура занятия представлена Таблице 1.

Таблица 1. Содержание занятий по физической культуре студентов экспериментальной группы

Содержание занятий	Время выполнения упражнения (мин.)	ЧСС после выполнения комплекса упражнений (уд./мин.)
Бег / ходьба	10-12 / 1-3	150-165 / 100-120
ОРУ И СБУ/ ходьба	12-17 / 1-3	150-165 / 100-120
СФП аэробной направленности / ходьба	10-20 / 1-3	150-165 / 100-120
Интервальная круговая тренировка (15 сек. выполнение упражнения x 15 сек. отдых, 6 станций) / ходьба	3 / 1-3	150-165 / 100-120
Интервальная круговая тренировка (15 сек. выполнение упражнения x 15 сек. отдых, 6 станций) / ходьба	3 / 1-3	150-165 / 100-120
Общий объём физической нагрузки	55	

Примечание: ОРУ – общеразвивающие упражнения, СБУ – специальные беговые упражнения, СФП – специальная физическая подготовка.

Содержание занятий в контрольной группе. Основную часть занятий студентов контрольной группы составлял В-режим, предусматривающий низкую интенсивность физической нагрузки. Занятия также были организованы в рамках шестидневной учебной недели и включали 2 занятия по дисциплине физическая культура в неделю. Содержание занятий составляли спортивные и подвижные игры, ОФП. Объём и интенсивность упражнений были подобраны таким образом, чтобы в конце выполнения комплекса упражнений и «игровых отрезков» среднее значение ЧСС находилось в пределах 130-150 ударов в минуту. При этом, в отличие от экспериментальной группы, в данном случае допускалось периодическое снижение ЧСС у студентов ниже 100 ударов в минуту.

Исследование когнитивных показателей производилось с помощью теста «Стандартные матрицы Равена» (SPM). Данный невербальный тест считается информативным показателем общего интеллекта и абстрактного мышления, имеет высокую степень надёжности и был многократно опробован на больших выборках в различных возрастных и социокультурных группах. Данная диагностическая процедура является базовой для оценки абстрактного мышления обучающихся, в связи с чем для исследования когнитивных способностей, связанных с нахождением сходств и различий, используется данный диагностический инструментарий. Тест состоит из 60 заданий возрастающей сложности. Предварительные исследования показали, что 20-минутная версия матриц Равена надёжно предсказывает результативность версии без временных ограничений.

Массив экспериментальных данных был собран в период с октября по декабрь 2023 года. Описательные статистики контрольной и экспериментальной группы показаны в Таблице 2.

Таблица 2. Описательные статистики

Статистические характеристики	Контрольная группа		Экспериментальная группа	
	Результаты в начале	Результаты в конце	Результаты в начале	Результаты в конце
N	24		24	
Мужчины	9		13	
Женщины	15		11	
M	41,5	42,3	42,6	45,3
Медиана	41,5	42,5	43,0	45,5
SD	4,71	4,76	5,59	3,97
SE	0,961	0,971	1,140	0,811

Результаты предварительного тестирования позволяют сделать некоторые обобщения: общие значения в тесте «Стандартные матрицы Равена» (SPM) у мужчин и женщин значимо не отличаются ($p > 0,05$); значимо не отличаются показатели в тесте SPM у испытуемых контрольной и экспериментальной группы ($p > 0,05$); значения интеллекта у студентов соответствуют нормальному распределению.

Результаты исследования

Внутригрупповые различия переменных SPM до и после занятий по ФК у студентов контрольной и экспериментальной групп

Проверка гипотезы о том, что переменные SPM статистически достоверно отличаются до и после цикла занятий, осуществлялась с использованием t-критерия Стьюдента, полученные результаты представлены в Таблице 3.

При сравнении показателей интеллектуальных способностей до и после 17 занятий в А-режиме физической активности были выявлены значимые различия между результатами переменных SPM: после двух месяцев интенсивной двигательной нагрузки у студентов наблюдалось повышение способности к научению на основе обобщения собственного опыта и создания схем, позволяющих обрабатывать сложные события. При этом не было зарегистрировано различий между мужчинами и женщинами.

Сопоставление аналогичных показателей в контрольной группе до и после 17 занятий в В-режиме физической активности не выявило значимых различий

после двух месяцев умеренной двигательной нагрузки. При этом необходимо отметить, что различия между мужчинами и женщинами также не были выявлены.

Таблица 3. Значимые различия средних значений в результаты теста SPM до и после проведения занятий по ФК в контрольной и экспериментальной группе

Статистические характеристики	Контрольная группа			Экспериментальная группа		
	Ж	М	Ж и М	Ж	М	Ж и М
t-критерий Стьюдента	-0,557	-0,949	-0,978	-1,88	-2,41	-3,10
df	14,0	8,00	23,0	10	12,0	23,0
p	0,293	0,185	0,169	0,045	0,016	0,003

* Примечание: $H_a \mu_{\text{Мера 1}} - \mu_{\text{Мера 2}} < 0$. Ж – женщины, М – мужчины. Жирным шрифтом выделены p-значения, полученные по параметрическому критерию выборок, меньшие 0,05. Анализ проводился с помощью параметрического t-критерия Стьюдента для связанных выборок

Тем не менее, чтобы статистически достоверно утверждать, что существуют различия между А-режимом и В-режимом в динамике изменения переменных теста SPM, необходимо провести сравнительный анализ полученных данных с применением дисперсионного анализа (ANOVA) с повторными измерениями.

Межгрупповые различия переменных SPM до и после занятий по ФК у студентов контрольной и экспериментальной групп

Результаты дисперсионного анализа (ANOVA) с повторными измерениями, свидетельствующие об эффекте взаимодействия факторов «экспериментальная/контрольная группа» x «динамика результатов теста SPM», представлены в Таблице 4.

Таблица 4. Результаты ANOVA с повторными измерениями, указывающие на взаимодействие факторов «экспериментальная/контрольная группа» x «период тестирования» для переменных теста SPM

Взаимодействие факторов	SS	df	MS	F	P
Э./К. группа x период тестирования	24,0	1	24	2,91	0,095

Результаты математической обработки и последующий анализ позволяют сделать вывод, что эффект взаимодействия «экспериментальная/контрольная группа» x «период тестирования» статистически не значим. На Рисунке 1 представлено взаимодействие данных факторов.

На рисунке представлена динамика изменения переменных теста SPM, которая показывает тенденцию увеличения когнитивных показателей студентов между замерами. Анализ показал, что результаты теста SPM имеют статистически достоверное различие между первым и вторым измерением в экспериментальной группе. При этом достоверный прирост был выявлен как у мужчин, так и у женщин.

В заключение отметим значение полученных результатов применительно к профессиональной подготовке студентов образовательных учреждений, осуществляющих подготовку высококвалифицированных кадров с высшим образованием. Актуальные исследования показывают связь когнитивных способностей с академической успеваемостью: когнитивные способности, как правило, рассматриваются как предикторы академической успеваемости. С. Д. Смирнов (Smirnov, 2014) отмечает, что во многих исследованиях получены довольно высокие корре-

ляции уровня общего интеллектуального развития с академической успеваемостью студентов. В контексте рассматриваемой проблемы будет правильно озвучить тезис о том, что физическая активность студентов является вспомогательным, а не основным фактором развития их интеллектуальных способностей.

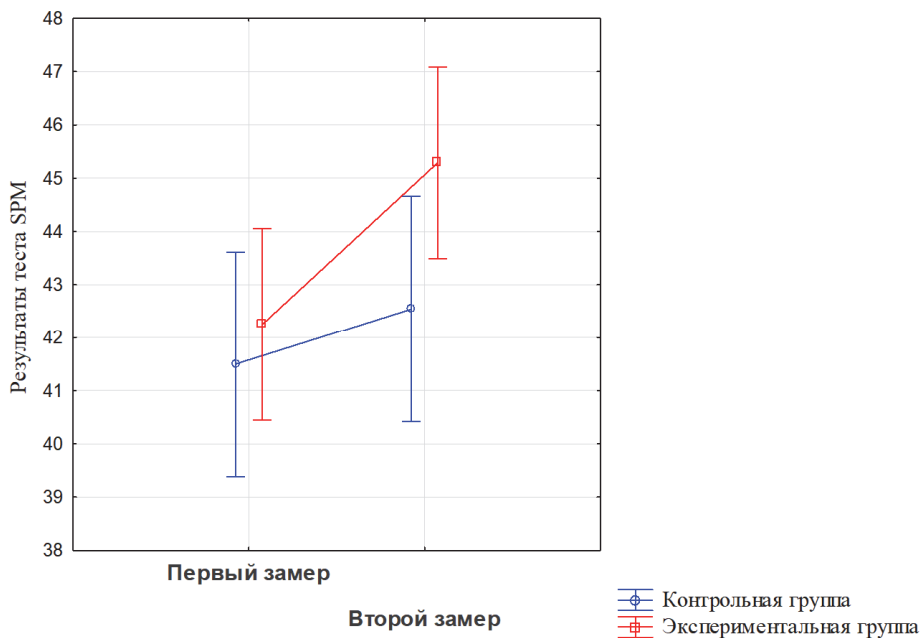


Рисунок 1. Динамика общего показателя теста SPM

Обсуждение результатов педагогического эксперимента

В начале естественного педагогического эксперимента, на основании предварительных исследований и анализа научно-методической литературы, было выдвинуто предположение о том, что «...режим физической активности на занятиях физической культурой в университете, включающий в себя упражнения аэробного характера высокой интенсивности, вызовет достоверно больший прирост когнитивных показателей студентов, чем занятия с низкой интенсивностью...». Результаты тестирования, полученные по окончании педагогического эксперимента, и математико-статистический анализ полученных данных с использованием ANOVA не подтвердили наше предположение, так как отсутствует статистически достоверное взаимодействие факторов «экспериментальная/контрольная группа» x «период тестирования». Однако в процессе исследования было выявлено статистически достоверное увеличение значений теста SPM у студентов экспериментальной группы по сравнению со студентами контрольной группы. Таким образом, полученные данные вносят существенный вклад в текущий корпус эмпирических данных и позволяют подтвердить целесообразность постановки гипотезы нашего исследования о том, что применение средств физического воспитания высокой интенсивности (ЧСС в диапазоне 150-165 ударов в минуту) позволяет добиваться достоверного повышения когнитивных способностей у студентов, с учетом экспериментальных условий. Однако для подтверждения данной гипотезы требуется внесение коррективов в дизайн педагогического эксперимента, а именно увеличе-

ние выборки исследования, протяженности тренировочного воздействия, а также проведение диагностики всего спектра когнитивных способностей с применением не только психологических, но и нейрокогнитивных методов исследования, что в свою очередь позволит провести системный анализ влияния физической активности на показатели когнитивных способностей.

Описывая полученные результаты, в первую очередь рассмотрим нейрофизиологические причины наблюдаемой тенденции. Физические упражнения способствуют активации молекулярных систем, участвующих в метаболизме, а также приводят к изменению структурных характеристик мозга, которое обусловлено увеличением его нейропластичности, количества волокон белого вещества и размеров серого вещества в ряде его областей (Feklicheva et al., 2020a).

Рассматривая наблюдаемую тенденцию к увеличению когнитивных показателей между замерами у студентов экспериментальной группы с психологической точки зрения, мы можем заключить, что она обусловлена повышением эффективности научения, которое происходит в результате обобщения собственного опыта при повторном прохождении SPM теста. С учетом того, что повторное тестирование является основным фактором увеличения значений в методике SPM, ключевым элементом анализа являются количественные характеристики изменения показателей в ходе повторного прохождения теста, а не сам факт его изменения, однако отметим, что в данном исследовании не наблюдается статистически достоверное увеличение значений в тесте SPM в контрольной группе, что, вероятно, связано с ограничениями исследования.

Полученные данные в том числе актуализируют проблему поиска оптимального уровня недельной двигательной активности, который способствует когнитивному развитию обучающихся. С учетом того, что обеспечение необходимых физиологических сдвигов зависит от объёма и интенсивности физической нагрузки, можно предположить, что в случае двух занятий физической культурой в неделю в вузе целесообразно реализовывать режим физической активности, предполагающий интенсивные физические упражнения.

Перейдем к рассмотрению основных исследований, которые подтверждают результаты текущего педагогического эксперимента. В частности, в систематическом обзоре и мета-анализе С. Lees и J. Hopkins (Lees & Hopkins, 2013) представили массив данных о том, что двигательная активность оказывает положительное влияние на когнитивные и психосоциальные функции детей. Однако авторы отмечают, что во многих исследованиях эта взаимосвязь минимальна, а по некоторым показателям не наблюдается никаких существенных различий.

Также выделим заключение М. Angevaren и L. Vanhees (Angevaren et al., 2007) о том, что еженедельные физические нагрузки различной интенсивности и вариативности положительно взаимосвязаны с показателями скорости обработки данных, памяти, а также показателями общей когнитивной функции у здоровой, относительно молодой популяции. В настоящем исследовании представлены данные о том, что двигательная активность, вероятно, оказывает положительное влияние на когнитивные способности, связанные с абстрактным мышлением.

Подробно рассмотрим работу D. N. Ardoy, J. M. Fernández-Rodríguez (Ardoy et al., 2014) в которой организация педагогического эксперимента по многим характеристикам соответствует дизайну текущего исследования: три школьных класса были случайным образом распределены на контрольную группу (CG), экспериментальную группу 1 (EG1) и экспериментальную группу 2 (EG2). Физическая активность в группе CG включала в себя обычные занятия физической культурой (два занятия в неделю), в группе EG1 – четыре занятия в неделю, в группе EG2 – четыре

занятия в неделю с высокой интенсивностью физической нагрузки. В результате были получены следующие данные: все показатели когнитивной деятельности значительно улучшились у подростков из группы EG2 по сравнению с подростками из групп CG и EG1, не были обнаружены существенные различия между группами CG и EG1. Специалисты заключили, что увеличение количества и интенсивности занятий физической культурой влияет как на когнитивные показатели, так и на успеваемость.

В текущем исследовании дополнены представленные данные, показано, что занятия физической культурой, включающие в себя упражнения высокой интенсивности, в отличие от упражнений низкой интенсивности, вероятно, оказывают больший эффект на развитие когнитивных способностей. Мы подтверждаем тезис о том, что упражнения высокой интенсивности играют важную роль в физическом воспитании. Отличием нашего исследования является то, что мы представили данные о влиянии интенсивности физических упражнений на когнитивные показатели в другой возрастной группе.

Результаты нашего исследования согласуются в том числе с выводами L. M. J. Sanders, T. Hortobágyi (Sanders et al., 2020): в их работе показана положительная корреляционная связь между эмоциональным интеллектом и двигательной активностью. Если рассматривать прогрессивные матрицы Равена как инструмент дифференцировки испытуемых по уровню их интеллектуального развития, то можно заключить, что представленные данные вносят существенный вклад в том числе в изучение взаимосвязи физической активности и интеллекта.

Необходимо отметить и ограничения проведенного нами исследования. Во-первых, в исследовании представлен относительно небольшой объём выборки, очевидна необходимость масштабировать дизайн эксперимента в будущих исследованиях на основании полученных данных.

Во-вторых, в ходе эксперимента в контрольной группе не удалось обеспечить контроль интенсивности физической нагрузки высокого уровня, в соответствии с этим представляется затруднительным описать режим физической активности обучающихся с высокой точностью.

В-третьих, продолжительность педагогического эксперимента составила 2 месяца, за это время было проведено 17 практических занятий физической культурой. Понятно, что представленный совокупный объём физической нагрузки не позволяет выявить достоверные различия во влиянии А-режима и В-режима физической активности на когнитивные способности.

В-четвертых, в представленном исследовании экспериментальный план включал в себя применение одного диагностического инструмента для измерения когнитивных способностей – тест SPM. Так как данная методика не является единственным показателем интеллектуального развития или степени сформированности когнитивных навыков, мы распространили полученные выводы исключительно на ту часть когнитивных способностей, которая связана с показателями сходств и различий в представляемом стимульном материале. Однако отметим, что тест SPM во всем мире является признанным психологическим инструментом, прошедшим процедуры рестандартизации, ревизии задач, психометрическую проверку. Вследствие этого в нашем исследовании используется только данный тест как эффективный способ исследования когнитивных способностей. Диагностика, предполагающая использование данной методики, является достаточно трудоёмкой, от обучающихся на протяжении 20 минут требуется значительная умственная активность.

В-пятых, в исследовании используется психологическое тестирование, однако при применении полученных знаний на практике необходим системный подход к рассматриваемой проблеме, в частности актуальными на данный момент, являются исследования нейрофизиологических механизмов общих когнитивных способностей с применением нейрокогнитивных обследований, включающих в себя регистрацию биоэлектрической активности мозга и магнитно-резонансную томографию (МРТ). Например, И. В. Фекличева, Н. А. Чипеева и др. (Feklicheva et al., 2020a) показали, что у молодых людей, регулярно занимающихся физической активностью более 3-х часов в неделю, иные функциональные параметры мозга.

С учетом ограничений исследования отметим, что интерпретировать полученные данные при планировании занятий физической культурой в вузе целесообразно при комплексной оценке общих закономерностей, связанных с влиянием физической активности на когнитивные способности. Рассматривая результаты студентов в тесте SPM в качестве предиктора академических достижений, важно учитывать, что они не определяют их полностью: такие факторы, как мотивация, личностные качества, социально-экономический статус, качество обучения, поддержка, также играют значительную роль.

Перейдем к рассмотрению направлений будущей работы. Очевидно, что результатом массива исследований, посвящённых данной проблеме, должна стать концепция, описывающая влияние двигательной активности различной интенсивности на эффективность когнитивной деятельности. Ближайшая задача заключается в том, чтобы статистически достоверно подтвердить гипотезу о том, что режим физической активности на занятиях физической культурой в университете, включающий в себя упражнения аэробного характера высокой интенсивности, вызывает достоверно больший прирост когнитивных показателей студентов, чем занятия с низкой интенсивностью. Мы предполагаем, что увеличение выборки и корректировка дизайна эксперимента приведут к получению достоверных результатов с применением ANOVA.

Основным итогом текущего исследования является увеличение актуальных данных о влиянии интенсивности физических упражнений на когнитивные способности обучающихся. Полученные данные значимы как в контексте дальнейших исследований, так и в практической деятельности, так как они показывают специалистам, занимающимся изучением и развитием когнитивных способностей обучающихся, наличие различных факторов воздействия на когнитивные способности. Отметим, что для педагогов полученные результаты могут стать ориентиром при планировании учебного процесса, для специалистов дополнительного профессионального образования полученные результаты могут стать определённым стимулом для пересмотра, дополнительной редакции или разработки, а также практической реализации программ стимулирования интеллектуальной деятельности обучающихся средствами физической культуры. Данные, полученные в настоящем исследовании, могут быть также полезны обучающимся, стремящимся повысить свой интеллектуальный потенциал путём применения средств физической культуры различной интенсивности.

Заключение

Основным результатом работы является подтверждение первой гипотезы: показано, что в экспериментальной группе произошло статистически достоверное улучшение когнитивных показателей, в отличие от статистически недостоверных изменений в контрольной группе. В частности, нами было показано, что преимущественное применение средств физической культуры высокой интенсивности

(ЧСС в диапазоне 150-165 ударов в минуту) приводит к достоверному повышению когнитивных способностей у студентов (с учетом экспериментальных условий). В то же время использование в качестве средств физической подготовки в основном нагрузок средней интенсивности (ЧСС в диапазоне 130-150 ударов в минуту) не обеспечивает существенное (достоверное) развитие когнитивных способностей обучающихся.

Подтвердить вторую гипотезу о том, что взаимодействие факторов «экспериментальная/контрольная группа» x «период тестирования» влияет на значения теста SPM, на основании данных ANOVA с повторными измерениями не удалось, однако результаты на уровне значимости ($p=0,09$) достаточно близки к статистически достоверным.

Таким образом, данные математико-статистической обработки результатов тестирования, полученные в процессе естественного педагогического эксперимента, и их анализ не позволяют заключить, хотя и позволяют обоснованно предполагать, что развитие когнитивных способностей студентов зависит от различных режимов интенсивности двигательной активности на занятиях физической культурой. При этом необходимо отметить отсутствие различий в динамике изменения интеллектуальных показателей у мужчин и у женщин.

В целом результатом проведенной работы являются данные, которые вносят существенный вклад в исследование влияния физической активности на интеллектуальные способности и обосновывают использование ресурсоемких исследовательских дизайнов, предполагающих рандомизацию, а также расширение тестовых методик для подтверждения поставленной гипотезы в дальнейших исследованиях.

Комментарий об открытом доступе к данным, конфликте интересов

Доступ к полученным эмпирическим данным предоставляется по индивидуальному запросу с обоснованием необходимости применения. Данные не являются общедоступными, так как исследование носит лонгитюдный характер и продолжается.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Биргалиева, З. И., Волкова, Е. А. Влияние физических упражнений на когнитивные способности студентов вуза // Теория и практика современной науки. – 2022. – № 12 (90). – С. 306–309.
- Кабачкова, А. В. Двигательная активность и когнитивная деятельность: диссертация ... доктора биологических наук: 1.5.5 / Кабачкова Анастасия Владимировна; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»]. – Томск, 2023. – 253 с.
- Капилевич, Л. В., Ежова, Г. С., Захарова, А. Н. Кабачкова, А. В. Кривошеков, С. Г. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки // Физиология человека. – 2019. – Т. 45. – № 2. – С. 58–69.
- Кузнецов, О. Ю., Петрова, Г. С. Физиологические основы стимуляции активности интеллектуальной деятельности студентов средствами физического воспитания // Известия Тульского государственного университета. Гуманитарные науки. – 2013. – № 1. – С. 357–362.
- Смирнов, С. Д. Показатели интеллектуального потенциала студентов как предикторы успешности обучения в вузе // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2014. – № 3. – С. 19–41.
- Фекличева, И. В., Чипеева, Н. А., Захаров, И. М., Масленникова, Е. П., Исмагуллина, В. И. Взаимосвязь физической активности и функциональной связанности мозга // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 19. – № 4. – С. 50–59.

- Фекличева, И. В., Чипеева, Н. А., Захаров, И. М., Исмагулина, В. И. Масленникова, Е. П., Табуева, А. О., Солдатова, Е. Л., Малых, С. Б. Взаимосвязь интеллекта и функциональной связанности мозга в состоянии покоя // Теоретическая и экспериментальная психология. – 2020. – Т. 13. – № 3. – С. 65–79.
- Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaíno, V. The Effect of Physical Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis // Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry. – 2017. – Vol. 56. – No. 9. – P. 729–738. – DOI:10.1016/j.jaac.2017.06.012
- Angevaren, M., Vanhees, L., Wendel-Vos, W., Verhaar, H. J. J., Aufdemkampe, G., Aleman, A., & Verschuren, W. M. M. Intensity, but not duration, of physical activities is related to cognitive function // European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation. – 2007. – Vol. 14. – No. 6. – Pp. 825–830. – DOI:10.1097/HJR.0b013e3282ef995b
- Arday, D. N., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., Ortega, F. B. A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study // Scandinavian journal of medicine & science in sports. – 2014. – Vol. 24. – No. 1. – DOI:10.1111/sms.12093
- Cox, E. P., O'Dwyer, N., Cook, R., Vetter, M., Cheng, H. L., Rooney, K., & O'Connor, H. Relationship between physical activity and cognitive function in apparently healthy young to middle-aged adults: A systematic review // Journal of Science and Medicine in Sport. – 2016. – Vol. 19. – No 8. – Pp. 616–628. – DOI:10.1016/j.jsams.2015.09.003
- de Nys, L., Anderson, K., Ofosu, E. F., Ryde, G. C., Connelly, J., & Whittaker, A. C. The effects of physical activity on cortisol and sleep: A systematic review and meta-analysis // Psychoneuroendocrinology. – 2022. – Vol. 143. – DOI:10.1016/j.psyneuen.2022.105843
- Gavelin, H. M., Dong, C., Minkov, R., Bahar-Fuchs, A., Ellis, K. A., Lautenschlager, N. T., Mellow, M. L., Wade, A. T., Smith, A. E., Finke, C., Krohn, S., & Lampit, A. Combined physical and cognitive training for older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials // Ageing research reviews. – 2021. – Vol. 66. – DOI:10.1016/j.arr.2020.101232
- Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. The influence of exercise on cognitive abilities // Comprehensive Physiology. – 2013. – Vol. 3. – No. 1. – Pp. 403–428. –DOI:10.1002/cphy.c110063
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., van Ewijk, H., Oosterlaan, J., & Hartman, E. Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis // Journal of sports sciences. – 2020. – Vol. 38. – No 23. – Pp. 2637–2660. – DOI:10.1080/02640414.2020.1794763
- Larson, C. How Exercise Impacts the Brain and Cognition. Biology and Microbiology Graduate Students Plan B Research Projects. – South Dakota State University, 2020. – 22 p.
- Lees, C., Hopkins, J. Effect of aerobic exercise on cognition, academic achievement, and psychosocial function in children: a systematic review of randomized control trials // Preventing chronic disease. – 2013. – Vol. 10. – DOI:10.5888/pcd10.130010
- Lubans, D., Richards, J., Hillman, C., Faulkner, G., Beauchamp, M., Nilsson, M., Kelly, P., Smith, J., Raine, L., & Biddle, S. Physical activity for cognitive and mental health in youth: A systematic review of mechanisms // Pediatrics. – 2016. – Vol. 138. – No 3. DOI:10.1542/peds.2016-1642
- O'Callaghan, E., O'Callaghan, M., Williams, G., Bor, W., & Najman, J. Physical activity and intelligence: A causal exploration // Journal of Physical Activity and Health. – 2012. – Vol. 9. – No 2. – Pp. 218–224. – DOI:10.1542/peds.2016-1642
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition // Psychology of Sport and Exercise. – 2019. – Vol. 40. – Pp. 1–22. –DOI:10.1016/j.psychsport.2018.08.015
- Sanders, L. M. J., Hortobágyi, T., Karssemeijer, E. G. A., Van der Zee, E. A., Scherder, E. J. A., & van Heuvelen, M. J. G. Effects of low-and high-intensity physical exercise on physical and cognitive function in older persons with dementia: a randomized controlled trial // Alzheimer's research & therapy. – 2020. – Vol. 12. – No 28. – Pp. 1–15. –DOI:10.1186/s13195-020-00597-3

- Sember, V., Jurak, G., Kovač, M., Morrison, S. A., & Starc, G. Children's Physical Activity, Academic Performance, and Cognitive Functioning: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Frontiers in public health*. – 2020. – Vol. 8. – P. 307. – DOI:10.3389/fpubh.2020.00307
- Sepdanius, E., Harefa, S. K., Indika, P. M., Effendi, H., Rifki, M. S., & Afriani, R. Relationship between Physical Activity, Stress and Sleep Quality and Emotional Intelligence // *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*. – 2023. – Vol. 11. – No 1. – Pp. 224–232.
- Silva, R. M. F., Mendonça, C. R., Azevedo, V. D., Memon, A. R., Silva Noll, P. R. E., & Noll, M. Barriers to high school and university students' physical activity: A systematic review // *PLoS ONE*. – 2022. – Vol. 17. – No 4. – DOI:10.1371/journal.pone.0265913
- Zhai, X., Ye, M., Gu, Q., Huang, T., Wang, K., Chen, Z., & Fan, X. The relationship between physical fitness and academic performance among Chinese college students // *Journal of American College Health*. – 2022. – Vol. 70. – No 2. – Pp. 395–403. – DOI:10.1080/07448481.2020.175164

References

- Álvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sánchez-López, M., Martínez-Hortelano, J. A., & Martínez-Vizcaino, V. (2017). The Effect of Physical Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 56(9), 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>
- Angevaren, M., Vanhees, L., Wendel-Vos, W., Verhaar, H. J. J., Aufdemkampe, G., Aleman, A., & Verschuren, W. M. M. (2007). Intensity, but not duration, of physical activities is related to cognitive function. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 14(6), 825–830. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e3282ef995b>
- Arday, D. N., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 24(1), e52–e61. <https://doi.org/10.1111/sms.12093>
- Bergalieva, Z. I., & Volkova, E. A. (2022). The effect of physical exercises on the cognitive abilities of university students. *Teoriya i praktika sovremennoj nauki – Theory and practice of modern science*, 12(90), 306–309.
- Cox, E. P., O'Dwyer, N., Cook, R., Vetter, M., Cheng, H. L., Rooney, K., & O'Connor, H. (2016). Relationship between physical activity and cognitive function in apparently healthy young to middle-aged adults: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 616–628. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.09.003>
- de Nys, L., Anderson, K., Ofosu, 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, 105843. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2022.105843>
- Feklicheva, I., Chipeeva, N., Zakharov, I., Ismatullina, V., Maslennikova, Tabueva, A., Soldatova, E., Malykh, S. (2020b). The relationship between intelligence and functional brain connectivity at rest. *Teoreticheskaya i eksperimental'naya psixologiya – Theoretical and experimental psychology*, 13(3), 65–79.
- Feklicheva, I., Chipeeva, N., Zakharov, I., Maslennikova, E., Ismatullina, V. (2020a). Correlation between physical activity and functional connectivity of the brain. *Chelovek. Sport. Medicina – Human. Sport. Medicine*, 19, 50–59. <https://doi.org/10.14529/hsm190407>
- Gavelin, H. M., Dong, C., Minkov, R., Bahar-Fuchs, A., Ellis, K. A., Lautenschlager, N. T., Mellow, M. L., Wade, A. T., Smith, A. E., Finke, C., Krohn, S., & Lampit, A. (2021). Combined physical and cognitive training for older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Ageing research reviews*, 66, 101232. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101232>
- Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, 3(1), 403–428. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110063>
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., van Ewijk, H., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis. *Journal of sports sciences*, 38(23), 2637–2660. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794763>

- Kabachkova, A. V. (2023). *Motor activity and cognitive activity: Mechanisms of interaction* [Doctoral dissertation, National Research Tomsk State University]. <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/koha:001000829>
- Kapilevich, L. V., Yezhova, G. S., Zakharova, A. N., Kabachkova, A. V., & Krivoshchekov, S. G. (2019). Bioelectric activity of the brain and cerebral hemodynamics in athletes with a combination of cognitive and physical activity. *Fiziologiya cheloveka – Human Physiology* 45(2), 58–69.
- Kuznetsov, O. Y., & Petrova, G. S. (2013). Physiological bases of stimulation of students' intellectual activity by means of physical education. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Gumanitarnyye nauki – Proceedings of Tula State University. Humanities*, 1, 357–362.
- Larson, C. (2020). *How Exercise Impacts the Brain and Cognition. Biology and Microbiology Graduate Students Plan B Research Projects*. South Dakota State University
- Lees, C., & Hopkins, J. (2013). Effect of aerobic exercise on cognition, academic achievement, and psychosocial function in children: a systematic review of randomized control trials. *Preventing chronic disease*, 10, E174. <https://doi.org/10.5888/pcd10.130010>
- Lubans, D., Richards, J., Hillman, C., Faulkner, G., Beauchamp, M., Nilsson, M., Kelly, P., Smith, J., Raine, L., & Biddle, S. (2016). Physical activity for cognitive and mental health in youth: A systematic review of mechanisms. *Pediatrics*, 138(3), e20161642. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-1642>
- O'Callaghan, F., O'Callaghan, M., Williams, G., Bor, W., & Najman, J. (2012). Physical activity and intelligence: A causal exploration. *Journal of Physical Activity and Health*, 9(2), 218–224. <https://doi.org/10.1123/jpah.9.2.218>
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Gwizdala, K. L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport and Exercise*, 40, 1–22 <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- Sanders, L. M. J., Hortobágyi, T., Karssemeijer, E. G. A., Van der Zee, E. A., Scherder, E. J. A., & van Heuvelen, M. J. G. (2020). Effects of low- and high-intensity physical exercise on physical and cognitive function in older persons with dementia: a randomized controlled trial. *Alzheimer's research & therapy*, 12, Art. 28, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s13195-020-00597-3>
- Sember, V., Jurak, G., Kovač, M., Morrison, S. A., & Starc, G. (2020). Children's Physical Activity, Academic Performance, and Cognitive Functioning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in public health*, 8, 307. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00307>
- Sepdanius, E., Harefa, S. K., Indika, P. M., Effendi, H., Rifki, M. S., & Afriani, R. (2023). Relationship between Physical Activity, Stress and Sleep Quality and Emotional Intelligence. *International Journal of Human Movement and Sports Sciences*, 11(1), 224–232.
- Silva, R. M. F., Mendonça, C. R., Azevedo, V. D., Memon, A. R., Silva Noll, P. R. E., & Noll, M. (2022). Barriers to high school and university students' physical activity: A systematic review. *PLoS ONE*, 17(4): e0265913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265913>
- Smirnov, S. D. (2014). Indicators of students' intellectual potential as predictors of success in higher education. *Vestnik Moskovskogo universiteta – Lomonosov Pedagogical Education Journal*, 3, 19–41.
- Zhai, X., Ye, M., Gu, Q., Huang, T., Wang, K., Chen, Z., & Fan, X. (2022). The relationship between physical fitness and academic performance among Chinese college students. *Journal of American College Health*, 70(2), 395–403. <https://doi.org/10.1080/07448481.2020.1751643>