DOI: https://doi.org/10.17816/KMJ653398 EDN: BONJXJ

Подходы к нефармакологической модуляции нервной и иммунной коммуникации: терапевтический потенциал вибрационной стимуляции

И.В. Широлапов, О.Н. Павлова, О.Н. Гуленко, П.М. Москвитина

Самарский государственный медицинский университет, г. Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В настоящее время наряду с традиционной физической нагрузкой в целях клинической реабилитации или для достижения спортивных показателей применяются принципы активации нейромышечной системы с использованием рефлекторной интенсивной стимуляции, опосредованной вибрационным воздействием. В ряде исследований вибрационная физическая нагрузка как немедикаментозный метод воздействия на различные функциональные системы организма продемонстрировала свою эффективность в реабилитации двигательных расстройств и мышечной слабости, в коррекции гормональных и метаболических нарушений, остеопороза, кардиореспираторной и возраст-ассоциированной патологии. Иммунная дисфункция и возрастные изменения тесно коррелируют с процессами нейровоспаления и нейродегенерации. Последние данные указывают на положительное влияние вибрационного тренинга на иммунный ответ и высшие интегративные функции мозга, а также демонстрируют терапевтические возможности при заболеваниях нервной системы. В настоящей статье анализируется влияние вибрационной стимуляции нейромышечной системы на клеточные и молекулярные пути, вовлечённые в нейроиммунные коммуникации, и систематизированы имеющиеся данные о потенциале такого воздействия для немедикаментозной коррекции неврологических и иммунных нарушений. Анализ исходов различных программ вибрационной физической нагрузки подтверждает эффективность и многофункциональность данного вмешательства для коррекции соответствующего дефицита и позволяет рассматривать его как многообещающее дополнение к традиционным упражнениям и методам физической реабилитации. Однако вопросы о конкретных механизмах, посредством которых интенсивная проприоцептивная стимуляция в условиях вибрационного тренинга может влиять на различные аспекты функционирования нервной системы и иммунный ответ, остаются открытыми. Поэтому изучение данной технологии с помощью разнообразных модельных организмов и у человека, а также комплексное исследование результатов воздействия и всесторонняя оценка терапевтической эффективности будут способствовать более глубокому и системному пониманию особенностей её влияния на здоровье человека в целом.

Ключевые слова: нейромышечная система; вибрационная стимуляция; проприоцепция; нейроиммунные взаимодействия.

Как цитировать:
Широлапов И.В., Павлова О.Н., Гуленко О.Н., Москвитина П.М. Подходы к нефармакологической модуляции нервной и иммунной коммуникации: терапевтический потенциал вибрационной стимуляции // Казанский медицинский журнал. 2025. Т. 106, № 3. С. 422–431. DOI: 10.17816/KMJ653398 EDN: BONJXJ

Рукопись получена: 05.02.2025 **Рукопись одобрена**: 27.02.2025 **Опубликована online**: 30.05.2025

ЭКО • ВЕКТОР

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2025

DOI: https://doi.org/10.17816/KMJ653398 EDN: BONJXJ

Approaches to Non-Pharmacological Modulation of Neural and Immune Communication: Therapeutic Potential of Vibration Stimulation

Igor V. Shirolapov, Olga N. Pavlova, Olga N. Gulenko, Polina M. Moskvitina
Samara State Medical University, Samara, Russia

ABSTRACT

Nowadays, principles of neuromuscular system activation using vibration-mediated, intensive reflex stimulation are employed in addition to conventional physical activity for clinical rehabilitation or sports performance. Studies show that vibration training is an effective, non-pharmacological way to improve various body functions, which can effectively rehabilitate movement disorders and muscle weakness, as well as treat hormonal and metabolic disorders, osteoporosis, cardiorespiratory disorders, and age-related disorders. Immune dysfunction and age-related changes are closely associated with neuroinflammation and neurodegeneration. Recent data demonstrate the positive effects of vibration training on immune responses and higher integrative brain functions, suggesting a promising therapeutic approach for treating nervous system diseases. This article evaluates the effects of vibration training for neuromuscular stimulation on cellular and molecular pathways involved in neuroimmune communications and systematizes the available data on the potential use of this non-pharmacological option for treatment of neurological and immune disorders. Various vibration training programs demonstrate their effectiveness and multifunctional performance in treating deficits and could be a promising addition to conventional exercise and physical rehabilitation options. However, the effects of proprioceptive stimulation by vibration training on the nervous system and the associated immune response remain to be elucidated. Therefore, research in various animal models and in human, as well as a comprehensive evaluation of the results and therapeutic effectiveness, will contribute to a deeper, more systematic understanding of this technology's effects on human health.

Keywords: neuromuscular system; vibration stimulation; proprioception; neuroimmune interactions.

To cite this article:
Shirolapov IV, Pavlova ON, Gulenko ON, Moskvitina PM. Approaches to non-pharmacological modulation of neural and immune communication: therapeutic potential of vibration stimulation. *Kazan Medical Journal.* 2025;106(3):422–431. DOI: 10.17816/KMJ653398 EDN: BONJXJ

Submitted: 05.02.2025 **Accepted**: 27.02.2025 **Published online**: 30.05.2025

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 license
© Eco-Vector, 2025

АКТУАЛЬНОСТЬ

Вибрационный тренинг (ВТ) в большинстве случаев подразумевает использование специализированной платформы для воздействия на тело механических вибраций определённой частоты и амплитуды, что приводит к различным физиологическим реакциям, которые способствуют положительным эффектам и клиническим преимуществам после кратковременной или длительной стимуляции [1]. Во время вибрационного физического воздействия скелетные мышцы быстро рефлекторно сокращаются и расслабляются с определённой частотой, что способствует активации мышечного метаболизма и улучшению рефлекса растяжения за счёт активации мышечных веретен [1–3]. Такая вибрационная нагрузка способствует увеличению выработки оксида азота и усиливает циркуляцию системного кровотока, что потенцирует доставку кислорода и питательных веществ к органам и тканям по всему организму [4–6]. Вибрационная стимуляция (ВС) инициирует эндокринные ответы, может увеличивать синтез и секрецию гормонов и факторов роста, многие из которых способствуют поддержанию и развитию массы скелетных мышц. Кроме того, ВТ способствует увеличению плотности костей, стимулирует ремоделирование костной ткани и демонстрирует потенциал для улучшения нервно-мышечной функции, что положительно влияет на равновесие и сенсомоторную координацию [7–13]. После однократной и курсовой вибрационной физической нагрузки (ВФН) было зарегистрировано уменьшение болевых симптомов при хронической дорсалгии, остеоартритах, фибромиалгии и улучшение бронхиальной проходимости, что может быть связано с его ингибирующим действием на нейроны спиноталамического тракта и вагусными эффектами [14–16]. В целом ВТ представляет собой относительно новую альтернативу традиционным упражнениям и физической реабилитации, которая имеет терапевтический потенциал, многофункциональность и подтверждённую эффективность [17–19].

Цель обзорной статьи — обобщить и проанализировать современные данные о механизмах и клиническом применении вибрационного физического воздействия, в частности систематизировать имеющуюся информацию о клеточных и системных эффектах интенсивной нейромышечной активации, индуцированной ВС, на иммунное реагирование и интегративные функции мозга.

Для подготовки обзора был выполнен поиск публикаций в наукометрических базах данных PubMed, Scopus, РИНЦ с использованием поисковых запросов и ключевых слов. Систематический поиск включал статьи, опубликованные за последние 20 лет (2005–2025). В частности, использовали следующие ключевые слова и их комбинации: «Whole body vibration», «WBV», «WBV training», «WBV exercises», «WBV therapy», «Vibration», «Nervous», «Immune», «Immunity», «Neurological», «Neuroimmune», «Brain», «Cognitive». Согласно поставленной цели поиска, тезисы докладов, протоколы заседаний, книги, клинические случаи и серии случаев не использовали.

МЕХАНИЗМЫ АКТИВАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Механизм воздействия ВТ на нейромышечную систему подразумевает механические высокочастотные стимуляции проприоцептивной системы с использованием специализированных платформ и аппаратов [20]. Технология основана на вибрационном соматосенсорном восприятии, как широко распространённом явлении в природе, при этом данная врождённая способность животных имеет эволюционное значение, усиливая биологическую связь организма с окружающей средой [20–21].

Соматосенсорная система человека чувствительна к механическим стимуляциям, наиболее широко встречающимся в колебательной форме, частота которых варьируется от 1 Гц до порядка 100 кГц [14]. Высокочастотные (>100 Гц) и высокоинтенсивные (>10 мм) вибрации могут привести к выраженным негативным последствиям, включая нарушение опорно-двигательного аппарата или повышение рисков развития вибрационной болезни, однако низкочастотные (до 50 Гц) и низкоамплитудные (<10 мм) вибрации продемонстрировали положительные функциональные эффекты, в частности, в терапевтических и реабилитационных целях [22–24].

Механическое воздействие на основе ВС способствует интенсивной нейрогенной адаптации [3, 18]. При этом стимуляция проприорецепторов мышечных веретен в несколько раз выше, чем при традиционной физической нагрузке [25]. Поэтому ВФН ведёт к активации мышечно-гипоталамической оси, что обусловливает быстрый прирост секреции анаболических гуморальных факторов, включая соматотропин, инсулиноподобный фактор роста-1, тестостерон, и стабилизацию секреции кортизола [26]. В основе улучшения физических показателей при таком воздействии лежит нервно-мышечная адаптация: ВС вызывает рефлекторную реакцию скелетной мускулатуры в виде последовательности малых, близких к изометрическим, непроизвольных сокращений мышцы с частотой, равной частоте стимуляции [2, 27]. В соответствии с электромиографическими данными, при такой проприоцептивной стимуляции выявлена активация до 100% скелетных мышечных волокон, при этом ВФН вызывает повторное рекрутирование молчащих двигательных единиц и временное поддержание их в состоянии высокой активности даже в утомлённых мышцах. В возникающем при этом утомлении ведущее значение имеет периферический механизм на фоне нормального сывороточного уровня молочной кислоты, который достоверно не повышается после ВТ [1, 27, 28].

ВФН можно рассматривать как форму условно пассивных физических упражнений [13, 29]. ВТ требует меньше усилий, достаточно эффективен, экономичен и подходит

для различных условий и, следовательно, может быть адаптирован как для клинического, так и для домашнего/бытового использования. Поэтому для лиц, сталкивающихся с физическими ограничениями или имеющих сниженную мотивацию из-за таких факторов, как общая слабость и астения, психофизиологические расстройства и депрессия, ВТ становится доступным и эффективным средством для инициирования и повышения физической активности [29–32].

Поскольку даже острые и кратковременные эффекты такого воздействия сопровождаются двукратным усилением кровотока в сосудах мышц и кожи, возрастанием лимфодренажа и венозного возврата в тренируемой области тела, и одновременно не выявляются выраженные системные иммуносупрессивные эффекты [33–36], поэтому ВС оказалась многообещающей по эффективности как в спорте высоких достижений, так и в восстановительной медицине для пациентов различных возрастных групп, включая пожилой и старческий возраст [37–39].

НЕЙРОИММУННАЯ КОММУНИКАЦИЯ

Нервная и иммунная регуляция функций имеет ряд коммуникационных путей и межсистемных взаимосвязей, которые играют роль в поддержании общего гомеостаза организма [40]. С одной стороны, головной мозг в тоническом режиме посылает на периферию свои сигналы, чтобы активировать иммунную функцию, с другой стороны, иммунная система транслирует информацию в обратном направлении, чтобы модулировать активность центральной нервной системы [40–42]. Такое межсистемное взаимодействие, среди прочего, влияет на процессы терморегуляции, сон и бодрствование, пищевое поведение, глимфатическую активность мозга и гормональный статус [43–46]. При нейродегенеративных расстройствах, таких как болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона, иммунная система также играет значимую роль, будучи как непосредственно вовлечённой в патогенетические механизмы, так и опосредованно влияющей на течение и прогрессирование заболевания [42, 47]. Ряд цитокинов, таких как интерлейкины IL-1B и IL-6, фактор некроза опухоли TNF-α, трансформирующий фактор роста TGF-β1 и TGF-α и другие факторы, связанные с иммунным ответом (например, Toll-подобные рецепторы и простагландины), играют важную роль в таком нейроиммунном взаимодействии [40, 48]. Провоспалительные и противовоспалительные реакции, опосредованные иммунной системой, наряду с окислительным стрессом, влияют на тонкий баланс в нейродегенеративных контекстах. Поэтому изучение и анализ различных эффектов ВС на иммунную реактивность раскрывают терапевтический потенциал данного воздействия при состояниях, связанных с иммунной дисфункцией, и его более широкие последствия для нейродегенеративных расстройств и нейровоспалительных процессов [47, 48].

Настоящий обзор направлен на повышение научной осведомлённости, рассмотрение и описательный анализ сложных путей и механизмов, модулируемых под воздействием импульсной ВС, с особым акцентом на молекулярные и клеточные аспекты, связанные с иммунным ответом и высшими интегративными функциями мозга.

МОДУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

В доклинических исследованиях на моделях животных исследование макрофагов из брюшной жировой ткани показало, что ВС в описанных режимах приводит к значительному увеличению количества макрофагов M2 с противовоспалительной функцией и восстанавливает уровень цитокина IL-10 у мышей с диабетом до показателей покоя у контрольных мышей [49]. Иммунологические результаты свидетельствуют о том, что вибрационная нагрузка изменяет дифференциацию регуляторных Т-клеток у мышей и ремоделирует альфа- и бета-разнообразие микробиома кишечника [49]. ВС потенциально изменяет микробиоту, связанную с врождённым и мукозальным иммунитетом, что дополнительно способствует противовоспалительным эффектам и устраняет неблагоприятные последствия, снижая регуляцию гипервоспалительного состояния [43, 49–51].

Хроническое воспаление как характерная черта процесса старения способствует возникновению различных возраст-ассоциированных заболеваний [52]. Сывороточные маркеры воспаления ассоциированы с хроническими процессами в пожилом и старческом возрасте, что лежит в основе патогенеза ряда метаболических, кардиореспираторных, нейродегенеративных нарушений [52–55]. В клинических исследованиях ВТ продемонстрировал потенциал в виде модуляции уровней цитокинов у пожилых людей, что указывало на системный противовоспалительный эффект и отсутствие иммуносупрессии [39, 53]. После воздействия отмечено снижение экспрессии рецепторов TLR2 и TLR4, что указывает на возможные биологические механизмы, вовлечённые в модуляцию иммунных реакций [56]. Выявленные иммунологические изменения коррелировали с улучшением физической работоспособности, подчёркивая целостное системное воздействие на организм испытуемых [51, 56]. Получены свидетельства, что традиционная физическая нагрузка в умеренном режиме может обладать противовоспалительными эффектами [39, 42]. В частности, у физически активных людей сравнительно ниже плазменные концентрации биологических маркеров системного воспаления и белков теплового шока, ниже продукция провоспалительных цитокинов в стимулированных митогенами культурах, а моноциты периферической крови в меньшей степени экспрессируют Toll-рецепторы на своей мембране [42]. Изучены эффекты долговременного клинического протокола ВТ на иммунное реагирование женщин пожилого возраста [57, 58]. Наибольшие сдвиги в показателях клеточных и гуморальных

факторов иммунитета установлены через 12 нед тренировок [57]. При этом через 24 нед ВФН выявлено сохранение на исходном уровне содержания основных субпопуляций лимфоцитов периферической крови, экспрессии их активационных маркеров, сывороточных концентраций иммуноглобулинов и цитокинов у женщин пожилого возраста [58]. По заключению авторов, полученные данные свидетельствует о стабильности процесса активации лимфоцитов при таком воздействии, что в целом характеризует подобную физическую нагрузку как слабый стрессорный фактор для функции иммунной системы людей пожилого возраста и позволяет рекомендовать к широкому применению в медицинской реабилитации [53, 58].

В совокупности эффекты ВС играют существенную роль в модуляции иммунного ответа. Прямое и опосредованное влияние на микробиом кишечника, глимфатический клиренс метаболитов, локальные иммуновоспалительные реакции при ВФН изменяет дифференциацию Т-клеток, вызывает сдвиг макрофагов, модулирует уровни провоспалительных и противовоспалительных цитокинов [59–61]. Но поскольку стресс, ассоциированный с чрезмерной физической нагрузкой, может дисгармонировать функцию иммунной системы и способствовать снижению иммунной реактивности на инфекционные агенты, и, с другой стороны, снижение иммунологической активации и иммунного воспаления может быть одним из механизмов, обеспечивающих многочисленные позитивные эффекты регулярных, умеренных по интенсивности физических упражнений, поэтому любая физическая нагрузка демонстрирует дозозависимые эффекты на систему иммунного реагирования и должна быть лимитированной по интенсивности и длительности, при превышении которых возникают общие нарушения метаболизма и иммунитета [37, 62–64].

МОДУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Изначально практическое использование ВТ было направлено на улучшение мышечной и опорно-двигательной функции, однако по мере развития клинического применения ВС потенциальное воздействие такого немедикаментозного метода на нервную систему стало более очевидным [18, 21, 65, 66]. Фундаментальные и клинические эффекты ВС на различные аспекты функционирования мозга изучались как у здоровых добровольцев, так и в исследованиях на животных, включая модели различных нейровоспалительных и нейродегенеративных заболеваний [65–70]. В частности, исследования на животных моделях установили, что ВТ в течение 5 нед положительно виляет на когнитивную продуктивность 18- и 30-месячных крыс: воздействие продемонстрировало потенциал в снижении тревожности, значительно улучшило пространственную память и показатели поведения вставания на задние лапы, а также повысило общую двигательную активность экспериментальных животных [71].

Комплексные эксперименты по изучению эффектов ВС на функцию нейронов, экспрессию синаптических белков и уровень нейротрофических факторов в крысиной модели хронической депрессии, вызванной стрессом ограничения, показали значительную активизацию нейропротекции и восстановления нейронов [72]. Предполагаемые механизмы таких эффектов включают ингибирование процессов нейрональной дегенерации, реактивного микроглиоза и атрофии астроцитов, защитную изоляцию синапсов, укрепление нейронных связей, восстановление нарушенной клеточной памяти, уменьшение дендритного и аксонального повреждения, модуляцию глимфатического пути выведения церебральных продуктов обмена и усиление экспрессии нейротрофических факторов [47, 73, 74]. В частности, ВФН может способствовать нейропротекции посредством модуляции уровней таких нейротрофинов и противовоспалительных агентов, как IGF-1, BDNF и IL-10 [73]. Кроме того, в доклинических исследованиях ВС показала многообещающие результаты в смягчении повреждения и дисфункции префронтальной коры [75]. При этом активация сигнального пути SESN2/AMPK/PGC-1α, который смягчает окислительный стресс и локальное воспаление, определяется как ключевой механизм, опосредующий такой эффект [75, 76].

Известно, что умеренные физические упражнения оказывают положительное влияние на психофизиологический статус, двигательную активность и когнитивные способности пожилых людей [77, 78]. При этом в случаях, когда традиционная физическая нагрузка невозможна по ряду ограничений и сопутствующей патологии, ВФН может использоваться как форма активно-пассивного тренинга для достижения требуемых результатов, сравнимых с таковыми при физических упражнениях и реабилитации, в т. ч. в отношении когнитивной продуктивности [77–80]. В соответствии с результатами клинических исследований, при воздействии ВС с частотой 30 Гц и продолжительностью сессии менее 30 мин в день 4 дня в неделю на протяжении 5 нед у пожилых людей выявлен положительный эффект в тесте Струпа, что указывало на улучшение избирательного внимания и торможения [80]. В исследовании у молодых испытуемых, несмотря на отсутствие у них когнитивных нарушений, даже краткосрочное воздействие показало улучшение результатов теста Струпа на цветовую и словесную интерференцию слов и положительное влияние на исполнительные когнитивные функции [81]. Такие результаты указывают на потенциал ВФН в качестве дополнения к программам когнитивно-стимулирующей терапии [81, 82]. Согласно данным метаанализов и описательных обзоров, ВТ демонстрирует улучшение двигательных навыков, времени реакции, скорости обработки информации, сенсомоторной интеграции и глобальных исполнительных функций [65, 78, 83, 84]. Положительные эффекты распространялись и на пациентов с соответствующими дефицитами, включая нарушения когнитивной сферы или сенсомоторной координации [85–90]. В частности,

исследования показали улучшение характеристик внимания, памяти и мышления у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивности, улучшение когнитивных способностей и других высших интегративных функций мозга у пациентов с рассеянным склерозом, болезнью Паркинсона, деменцией альцгеймеровского типа и инсультом [83–90].

ОБОБЩЁННЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НА НЕЙРОИММУННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В соответствии с результатами экспериментальных и клинических исследований, ВС в соответствующих режимах модулирует процессы нервной регуляции и высшие интегративные функции мозга, включая улучшение баланса, координации движений и нейромышечной функции, а также развитие когнитивной производительности и глобальных исполнительных функций, что определяет терапевтический потенциал и эффективность применения метода для людей с неврологическими нарушениями [65, 71, 78, 83, 91–94]. Описательный и систематический анализ исходов такого воздействия на клеточные и молекулярные пути, вовлечённые в иммунную и нервную коммуникацию, демонстрирует эффективность ВФН как немедикаментозного вмешательства для коррекции соответствующего дефицита, что остаётся предметом научных обсуждений. Описанные результаты могут способствовать планированию дизайна и протоколов грядущих исследований при изучении такого воздействия [76, 95, 96].

ВС прямо и опосредованно влияет на иммунную функцию, модулируя дифференциацию Т-клеток, цитокиновый профиль и инициируя позитивные изменения в микробиоме кишечника [27, 33, 40, 43, 49, 97–99]. Данная технология оказывает воздействие на уровни провоспалительных и противовоспалительных маркеров, что в совокупности предполагает регуляторную роль в иммунном ответе и системных реакциях [27, 33, 98]. Возможные полезные эффекты ВТ при различных неврологических расстройствах могут опосредоваться через клеточные пути, имеющие значимую регуляторную роль в процессах нейровоспаления, нейропротекции и нейротрансмиссии [40, 69, 89, 99]. Так, на молекулярном уровне ВС демонстрирует вовлечённость в модуляцию ряда воспалительных/противовоспалительных биомаркеров (IL-1, IL-6, IL-10, СРБ, TNF-α) и нейротрансмиттеров, таких как ацетилхолин, норадреналин, дофамин и серотонин, а также нейротрофических факторов, в частности, TNFR-1, TNFR-2, IGF-1 и BDNF [27, 40, 58, 97–99].

Несмотря на полученные свидетельства многочисленных клинических эффектов ВФН, вопросы о конкретных механизмах, посредством которых интенсивная проприоцептивная стимуляция в условиях ВТ модулирует функциональные ответы нервной системы и иммунного реагирования, требуют дальнейшего научного исследования и обсуждения [27, 47, 53, 77]. Повышая научную осведомлённость, что является одной из базовых целей описательных и систематических обзоров, настоящая работа может служить дополнительным импульсом в направлении критического анализа имеющегося объёма данных, поиска новых решений и взаимосвязей, а также стимулирования фундаментальных и прикладных исследований в области изучения острых и длительных эффектов ВС. Поэтому полагаем, что дальнейшее изучение влияния ВФН в моделях животных и у людей различных возрастных групп будут способствовать более глубокому пониманию механизмов воздействия не только на нейроиммунную коммуникацию, но и на здоровье человека в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные экспериментальных и клинических исследований указывают на положительные эффекты ВТ на иммунный ответ и высшие интегративные функции мозга, а также демонстрируют широкий терапевтический потенциал. Настоящая работа не только объединяет и систематизирует имеющиеся данные последних 20 лет о клеточных и системных эффектах интенсивной нейромышечной активации, индуцированной вибрационной стимуляцией, на иммунную функцию и центральную нервную систему, но также подчёркивает важность изучения фундаментальных механизмов такого воздействия для разработки более оптимальных протоколов экспериментальных и клинических исследований в данном направлении.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Ш.И.В. — разработка концепции, написание черновика рукописи, написание рукописи — рецензирование и редактирование; П.О.Н. — написание рукописи — рецензирование и редактирование, научное руководство; Г.О.Н. — проведение исследования, разработка методологии; М.П.М. — проведение исследования, написание черновика рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Этическая экспертиза. Неприменимо.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы были использованы фрагменты собственного текста и данные, опубликованные ранее ([Пятин В.Ф., Широлапов И.В., Жестков А.В., и др. Иммунологические показатели периферической крови женщин пожилого возраста при равноускоренном тренинге: результаты 12-недельного исследования // Медицинская иммунология. 2010. Т. 12, № 4–5. С. 413–416]; [Пятин В.Ф., Жестков А.В., Широлапов И.В., и др. Адаптационные возможности системы иммунитета женщин пожилого возраста в условиях равноускоренного тренинга: результаты 24-недельного исследования // Аллергология и иммунология. 2010. Т. 11, № 1. С. 42–47]). Ссылки представлены в списке литературы.

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: Sh.I.V.: conceptualization, writing—original draft, writing—review & editing; P.O.N.: writing—review & editing, supervision; G.O.N.: investigation, methodology; M.P.M.: investigation, writing—original draft. All authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: Not applicable.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: This work was created using fragments of our own text and previously published data ([Pyatin V.F., Shirolapov I.V., Zhestkov A.V., Nikitin O.L., Limareva L.V., Zubova I.A. Immune Indexes of Peripheral Blood in Elderly Women During Acceleration Exercise (Whole Body Vibration): A Pilot Twelve-Week Trial. Medical Immunology (Russia). 2010;12(4–5):413–416. (In Russ.); [Pyatin V.F., Zhestkov A.V., Shirolapov I.V., Nikitin O.L., Limareva L.V., Zubova I.A Adaptive Capabilities of the Immune System of Elderly Women Under Uniformly Accelerated Training: Results of A 24-Week Study. Allergology and immunology. 2010;11(1):42–47]). References are provided in the corresponding section.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this paper.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Rittweger J. *Manual of vibration exercise and vibration therapy*. NYC, USA: Springer; 2020. 389 p. doi: 10.1007/978-3-030-43985-9

2. Pyatin VF, Shirolapov IV. Physical load acceleration — expansion of rehabilitation possibilities of restorative medicine. *Bulletin of restorative medicine*. 2009;29(1):25–29. EDN: MUJGPR

3. Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(5):877–904. doi: 10.1007/s00421-009-1303-3 EDN: MYMPPL

4. Johnson PK, Feland JB, Johnson AW, et al. Effect of whole body vibration on skin blood flow and nitric oxide production. *J Diabetes Sci Technol*. 2014;8:889–894. doi: 10.1177/1932296814536289

5. Korolev VV, Pyatin VF, Eskov VM, Shirolapov IV. Features of restoration of heart rate variability after vibration physical load. *Bulletin of restorative medicine*. 2010;35(1):13–16. EDN: MUJHUL

6. Zuccarelli L, Baldassarre G, Winnard A, et al. Effects of whole-body vibration or resistive-vibration exercise on blood clotting and related biomarkers: a systematic review. *NPJ Microgravity*. 2023;9(1):87. doi: 10.1038/s41526-023-00338-4 EDN: NTSZDD

7. Kotelnikov GP, Piatin VF, Bulgakova SV, Shirolapov IV. Whole body vibration (acceleration) training increases bone mineral density and serum levels of osteocalcin in elderly women. *Adv Gerontol*. 2010;23(2):257–262. EDN: MSVIMD

8. Liu P, Li Y, Xiao Y, et al. Effects of whole-body vibration training with different frequencies on the balance ability of the older adults: a network meta-analysis. *Front Physiol*. 2023;14:1153163. doi: 10.3389/fphys.2023.1153163 EDN: KIKMVS

9. Pyatin VF, Shirolapov IV. Neuromuscular stimulation in conditions of vibrational physical activity for the prevention of osteoporosis. *Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2020;97(3):87–93. doi: 10.17116/kurort20209703187 EDN: FICCWK

10. Yin S, Liu Y, Zhong Y, Zhu F. Effects of whole-body vibration on bone mineral density in postmenopausal women: an overview of systematic reviews. *BMC Womens Health*. 2024;24(1):444. doi: 10.1186/s12905-024-03290-x EDN: EQRREC

11. Krause A, Lee K, König D, et al. Six weeks of whole-body vibration improves fine motor accuracy, functional mobility and quality of life in people with multiple sclerosis. *PLoS One*. 2022;17(7):e0270698. doi: 10.1371/journal.pone.0270698 EDN: XOFRGV

12. Marín-Cascales E, Alcaraz PE, Ramos-Campo DJ, et al. Whole-body vibration training and bone health in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2018;97(34):e11918. doi: 10.1097/MD.0000000000011918

13. Rogan S, Taeymans J. Effects of stochastic resonance whole-body vibration on sensorimotor function in elderly individuals — a systematic review. *Front Sports Act Living*. 2023;5:1083617. doi: 10.3389/fspor.2023.1083617 EDN: AEDNXW

14. Oroszi T, van Heuvelen MJG, Nyakas C, van der Zee EA. Vibration detection: its function and recent advances in medical applications. *F1000Res*. 2020;9:F1000 Faculty Rev-619. doi: 10.12688/f1000research.22649.1 EDN: FYECFB

15. Pyatin VF, Shirolapov IV. Acute whole body vibration significantly increases maximal expiratory flow in man. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2009;(11):38–43. EDN: MTZOHH

16. Watson A, Wilkinson TMA, Freeman A. Evidence around the impact of pulmonary rehabilitation and exercise on redox status in COPD: a systematic review. *Front Sports Act Living*. 2021;3:782590. doi: 10.3389/fspor.2021.782590 EDN: FRRUJO

17. Simon AB, Bajaj P, Samson J, Harris RA. the clinical utility of whole body vibration: a review of the different types and dosing for application in metabolic diseases. *J Clin Med*. 2024;13(17):5249. doi: 10.3390/jcm13175249 EDN: GNLTBS

18. Bonanni R, Cariati I, Romagnoli C, et al. Whole body vibration: a valid alternative strategy to exercise? *J Funct Morphol Kinesiol*. 2022;7(4):99. doi: 10.3390/jfmk7040099 EDN: KKYKVA

19. Hu J, Wang Y, Ji X, et al. Non-pharmacological strategies for managing sarcopenia in chronic diseases. *Clin Interv Aging*. 2024;19:827–841. doi: 10.2147/CIA.S455736 EDN: IWWPXY

20. Krajnak K, Riley DA, Wu J, et al. Frequency-dependent effects of vibration on physiological systems: experiments with animals and other human surrogates. *Ind Health*. 2012;50:343. doi: 10.2486/INDHEALTH.MS1378

21. Cardinale M, Rittweger J. Vibration exercise makes your muscles and bones stronger: fact or fiction? *J Br Menopause Soc*. 2006;12(1):12–18. doi: 10.1258/136218006775997261 EDN: MDVQED

22. Eskov VM, Korolev VV, Polukhin VV, et al. Dynamics of parameters of attractors of motion of state vectors of the organism of elderly women under the influence of twelve-week vibration physical load. *Bulletin of new medical technologies*. 2009;16(3):66–69. EDN: LAMYMZ

23. Monteiro-Oliveira BB, Coelho-Oliveira AC, Paineiras-Domingos LL, et al. Use of surface electromyography to evaluate effects of whole-body vibration exercises on neuromuscular activation and muscle strength

in the elderly: a systematic review. *Disabil Rehabil*. 2022;44(24):7368–7377. doi: 10.1080/09638288.2021.1994030 EDN: PMIYUN

24. Rittweger J, Ehrig J, Just K, et al. Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude, and external load. *Int J Sports Med*. 2002;23(6):428–432. doi: 10.1055/s-2002-33739

25. Cochrane DJ, Stannard SR, Firth EC, Rittweger J. Acute whole-body vibration elicits post-activation potentiation. *Eur J Appl Physiol*. 2010;108(2):311–319. doi: 10.1007/s00421-009-1215-2 EDN: VXJOHH

26. Sanni AA, Blanks AM, Derella CC, et al. The effects of whole-body vibration amplitude on glucose metabolism, inflammation, and skeletal muscle oxygenation. *Physiol Rep*. 2022;10:e15208. doi: 10.14814/phy2.15208 EDN: JVGENR

27. Di Giminiani R, Rucci N, Capuano L, et al. Individualized whole-body vibration: neuromuscular, biochemical, muscle damage and inflammatory acute responses. *Dose Response*. 2020;18:1559325820931262. doi: 10.1177/1559325820931262 EDN: TCLZKB

28. Cochrane DJ, Loram ID, Stannard SR, Rittweger J. Changes in joint angle, muscle-tendon complex length, muscle contractile tissue displacement, and modulation of EMG activity during acute whole-body vibration. *Muscle Nerve*. 2009;40(3):420–429. doi: 10.1002/mus.21330

29. Piatin VF, Shirolapov IV, Nikitin OL. Vibrational physical exercises as the rehabilitation in gerontology. *Adv Gerontol*. 2009;22(2):337–342. EDN: MUZWIR

30. Li KY, Cho YJ, Chen RS. The effect of whole-body vibration on proprioception and motor function for individuals with moderate parkinson disease: a single-blind randomized controlled trial. *Occup Ther Int*. 2021;2021: 9441366. doi: 10.1155/2021/9441366 EDN: QZHVEQ

31. Rauch F. Vibration therapy. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51 Suppl 4:166–168. doi: 10.1111/j.1469-8749.2009.03418.x

32. Topaloğlu M, Ketenci A, Baslo B, Şahinkaya T. The effect of adding whole-body vibration exercises to home exercise program on muscle strength in patients with post-polio syndrome. *Turk J Phys Med Rehabil*. 2022;68(1):117–125. doi: 10.5606/tftrd.2022.7063 EDN: KSITOG

33. Shirolapov IV, Pyatin VF, Zhestkov AV, et al. Levels of proinflammatory cytokines TNFα and IL-8 under conditions of long-term proprioceptive stimulation. *Medical Immunology*. 2015;17(S):451. EDN: UQDESD

34. Cochrane DJ, Sartor F, Winwood K, et al. A comparison of the physiologic effects of acute whole-body vibration exercise in young and older people. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89(5):815–821. doi: 10.1016/j.apmr.2007.09.055

35. Pyatin VF, Shirolapov IV, Khamzina GR, et al. Hemodynamic effects of proprioceptive stimulation in elderly people. *Modern problems of science and education*. 2015;(2–1):88. EDN: UHWXYN

36. Figueroa A, Jaime SJ, Alvarez-Alvarado S. Whole-body vibration as a potential countermeasure for dynapenia and arterial stiffness. *Integr Med Res*. 2016;5(3):204–211. doi: 10.1016/j.imr.2016.06.004

37. Inês Gonzáles A, Lavarda do Nascimento G, da Silva A, et al. Whole-body vibration exercise in the management of cardiovascular diseases: A systematic review. *J Body Mov Ther*. 2023;36:20–29. doi: 10.1016/j.jbmt.2023.04.057 EDN: SWONAF

38. Pyatin VF, Shirolapov IV, Zhestkov AV, Veretelnik EN. Increase in expiratory air flow rate in elderly women with a single vibration physical load. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2009;(13):38–43. EDN: MTZOPJ

39. Šarabon N, Kozinc Ž, Löfler S, Hofer C. resistance exercise, electrical muscle stimulation, and whole-body vibration in older adults: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Clin Med*. 2020;9(9):2902. doi: 10.3390/jcm9092902 EDN: UKEXEZ

40. Toader C, Tataru CP, Munteanu O, et al. Revolutionizing neuroimmunology: unraveling immune dynamics and therapeutic innovations in CNS disorders. *Int J Mol Sci*. 2024;25(24):13614. doi: 10.3390/ijms252413614 EDN: HCTSAD

41. Lavrov OV, Pyatin VF, Shirolapov IV. Stress-induced features of immunological parameters in people with differentiated vegetative-hormonal clusters. *Medical Immunology*. 2013;15(3):283–288. EDN: QCRQCL

42. Rankin LC, Artis D. Beyond host defense: emerging functions of the immune system in regulating complex tissue physiology. *Cell*. 2018;173:554–567. doi: 10.1016/J.CELL.2018.03.013 EDN: VFHPVU

43. Wallrapp A, Chiu IM. Neuroimmune Interactions in the Intestine. *Annu Rev Immunol*. 2024;42(1):489–519. doi: 10.1146/annurev-immunol-101921-042929 EDN: OUEYVE

44. Shirolapov IV, Zakharov AV, Smirnova DA, et al. The significance of the glymphatic pathway in the relationship between the sleep-wake cycle and neurodegenerative diseases. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2023;123(9):31–36. doi: 10.17116/jnevro202312309131 EDN: IWJTUP

45. Lavrov OV, Pyatin VF, Shirolapov IV. Adaptive changes of the indices of the cardiovascular system and serum content of a number of hormones under examination stress condition. *Kazan Medical Journal*. 2012;93(3):461–464. EDN: OYVDCZ

46. Kovrov GV, Posokhov SI, Chernikova AG, et al. Validation of ballistocardiography data for predicting the sleep efficiency in healthy individuals and patients with insomnia. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2024;124(10):60–66. doi: 10.17116/jnevro202412410160 EDN: VVTQDP

47. Suk HJ, Buie N, Xu G, et al. Vibrotactile stimulation at gamma frequency mitigates pathology related to neurodegeneration and improves motor function. *Front Aging Neurosci*. 2023;15:1129510. doi: 10.3389/FNAGI.2023.1129510/BIBTEX

48. Wunram HL, Oberste M, Hamacher S, et al. Immunological effects of an add-on physical exercise therapy in depressed adolescents and its interplay with depression severity. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(12):6527. doi: 10.3390/ijerph18126527 EDN: RWWGAZ

49. Yu JC, Hale VL, Khodadadi H, Baban B. Whole body vibration-induced omental macrophage polarization and fecal microbiome modification in a murine model. *Int J Mol Sci*. 2019;20:3125. doi: 10.3390/IJMS20133125

50. Shirolapov IV, Gribkova OV, Kovalev AM, et al. The interactions along the microbiota-gut-brain axis in the regulation of circadian rhythms, sleep mechanisms and disorders. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2024;124(5–2):79–86. doi: 10.17116/jnevro202412405279 EDN: BGDKNU

51. Ma Y, He M, Qiang L. Exercise therapy downregulates the overexpression of TLR4, TLR2, MyD88 and NF-κB after cerebral ischemia in rats. *Int J Mol Sci*. 2013;14:3718–3733. doi: 10.3390/IJMS14023718

52. Shirolapov I, Zakharov A, Smirnova D, et al. Aging brain, dementia and impaired glymphatic pathway: causal relationships. *Psychiatria Danubina*. 2023;35(Suppl. 2):236–244. Available from: https://www.psychiatria-danubina.com/UserDocsImages/pdf/dnb_vol35_noSuppl%202/dnb_vol35_noSuppl%202_236.pdf

53. Blanks AM, Rodriguez-Miguelez P, Looney J, et al. Whole body vibration elicits differential immune and metabolic responses in obese and normal weight individuals. *Brain Behav. Immun. Health*. 2020;1:100011. doi: 10.1016/j.bbih.2019.100011 EDN: YKDGUZ

54. Shirolapov IV, Zakharov AV, Bulgakova SV, et al. Glymphatic dysfunction in the pathogenesis of neurodegenerative diseases and pathological aging. *Genes and cells*. 2023;18(4):309–322. doi: 10.23868/gc546022 EDN: IPOLTQ

55. Bulgakova SV, Kurmaev DP, Treneva EV, et al. Influence of nutrition and epigenetics on the development of neurodegenerative diseases in elderly and old people. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2024;(8):89–95. doi: 10.31146/1682-8658-ecg-228-8-89-95 EDN: WWLGGX

56. Rodriguez-Miguelez P, Fernandez-Gonzalo R, Collado PS, et al. Whole-body vibration improves the anti-inflammatory status in elderly subjects through toll-like receptor 2 and 4 signaling pathways. *Mech Ageing Dev*. 2015;150:12–19. doi: 10.1016/J.MAD.2015.08.002

57. Pyatin VF, Shirolapov IV, Zhestkov AV, et al. Immunological indices of peripheral blood of elderly women during uniformly accelerated training: results of a 12-week study. *Medical Immunology*. 2010;12(4–5):413–416. EDN: LLOAQU

58. Pyatin VF, Zhestkov AV, Shirolapov IV, et al. Immune responses to acceleration (whole body vibration) training: a 24-weeks trial among elderly women. *Allergology and immunology*. 2010;11(1):42–47. EDN: MVCUBD

59. Ahuja G, Arauz YLA, van Heuvelen MJG, et al. The effects of whole-body vibration therapy on immune and brain functioning: current insights in the underlying cellular and molecular mechanisms. *Front Neurol*. 2024;15:1422152. doi: 10.3389/fneur.2024.1422152 EDN: IFEUMJ

60. Shirolapov IV, Maslova OA, Barashkina KM, et al. Entomophagy as an alternative source of protein and a new food strategy. *Kazan Medical Journal*. 2023;104(5):733–740. doi: 10.17816/KMJ123526 EDN: FOYULU

61. Shirolapov I, Zakharov A, Gochhait S, et al. Aquaporin-4 as the main element of the glymphatic system for clearance of abnormal proteins and prevention of neurodegeneration: a review. *WSEAS Transactions on Biology and Biomedicine*. 2023;20:110–118. doi: 10.37394/23208.2023.20.11 EDN: JTGOEX

62. Zago M, Capodaglio P, Ferrario C, et al. Whole-body vibration training in obese subjects: a systematic review. *PLoS One*. 2018;13(9):e0202866. doi: 10.1371/journal.pone.0202866 EDN: YJTPKH

63. Lavrov OV, Shirolapov IV, Pyatin VF. Stress-induced hormonal reactions in students. *Bulletin of new medical technologies*. 2012;19(4):110–112. EDN: PJTGGJ

64. Shirolapov IV, Pyatin VF, Lavrov OV. Features of immunological indicators under examination stress. *Medical Immunology*. 2012;14(1–2):133–138. EDN: OPHKFD

65. Boerema AS, Heesterbeek M, Boersma SA, et al. Beneficial effects of whole body vibration on brain functions in mice and humans. *Dose Response*. 2018;16:1559325818811756. doi: 10.1177/1559325818811756

66. Arenales Arauz YL, Ahuja G, Kamsma YPT, et al. Potential of whole-body vibration in Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Biology*. 2022;11:1238. doi: 10.3390/BIOLOGY11081238 EDN: EMMBOJ

67. Shirolapov IV. On the mechanism of non-drug bronchodilation in young and elderly people. *Postgraduate Bulletin of the Volga Region*. 2009;(3–4):170–174. EDN: KVDSEX

68. Arauz YLA, van der Zee EA, Kamsma YPT, van Heuvelen MJG. Short-term effects of side-alternating whole-body vibration on cognitive function of young adults. *PLoS One*. 2023;18:e0280063. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0280063 EDN: SELXWY

69. Fischer M, Vialleron T, Laffaye G, et al. Long-term effects of whole-body vibration on human gait: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*. 2019;10:627. doi: 10.3389/fneur.2019.00627

70. Kerr N, Sanchez J, Moreno WJ, et al. Post-stroke low-frequency whole-body vibration improves cognition in middle-aged rats of both sexes. *Front Aging Neurosci*. 2022;14:942717. doi: 10.3389/fnagi.2022.94271 EDN: WXXUUJ

71. Keijser JN, van Heuvelen MJG, Nyakas C, et al. Whole body vibration improves attention and motor performance in mice depending on the duration of the whole-body vibration session. *Afr J Tradit Complement Altern Med*. 2017;14:128–134. doi: 10.21010/ajtcam.v14i4.15

72. Peng G, Yang L, Wu CY, et al. Whole body vibration training improves depression-like behaviors in a rat chronic restraint stress model. *Neurochem Int*. 2021;142:104926. doi: 10.1016/J.NEUINT.2020.104926 EDN: OQSZVV

73. Pyatin VF, Kolsanov AV, Shirolapov IV. Recent medical techniques for peripheral nerve repair: clinico-physiological advantages of artificial nerve guidance conduits. *Advances in Gerontology*. 2017;7(2):148–154. doi: 10.1134/S2079057017020126 EDN: XNNECL

74. Raval AP, Schatz M, Bhattacharya P, et al. Whole body vibration therapy after ischemia reduces brain damage in reproductively senescent female rats. *Int J Mol Sci*. 2018;19(9):2749. doi: 10.3390/ijms19092749

75. Feng L, Li B, Cai M, et al. Resistance exercise alleviates the prefrontal lobe injury and dysfunction by activating SESN2/AMPK/PGC-1α signaling pathway and inhibiting oxidative stress and inflammation in mice with myocardial infarction. *Exp Neurol*. 2023;370:114559. doi: 10.1016/J.EXPNEUROL.2023.114559 EDN: DZDGUB

76. Oroszi T, de Boer SF, Nyakas C, et al. Chronic whole body vibration ameliorates hippocampal neuroinflammation, anxiety-like behavior, memory functions and motor performance in aged male rats dose dependently. *Sci Rep*. 2022;12:1–10. doi: 10.1038/s41598-022-13178-1 EDN: QTNHTH

77. Amonette WE, Boyle M, Psarakis MB, et al. Neurocognitive responses to a single session of static squats with whole body vibration. *J Strength Cond Res*. 2015;29:96–100. doi: 10.1519/JSC.0B013E31829B26CE

78. Yang H, Gao J, Wang HY, et al. The effects and possible mechanisms of whole-body vibration on cognitive function: a narrative review. *Brain Res*. 2024;1850:149392. doi: 10.1016/j.brainres.2024.149392 EDN: BVBNIO

79. Pyatin VF, Kolsanov AV, Shirolapov IV. Recent medical techniques for peripheral nerve repair: nerve guidance conduits update. *Adv Gerontol*. 2016;29(5):742–750. EDN: XXRTMF

80. Senderovich H, Bayeva N, Montagnese B, Yendamuri A. Managing fall prevention through exercise in older adults afflicted by cognitive and strength impairment. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2021;50(6):507–518. doi: 10.1159/000521140 EDN: MRFDFJ

81. Regterschot GRH, Van Heuvelen MJG, Zeinstra EB, et al. Whole body vibration improves cognition in healthy young adults. *PLoS One*. 2014;9:e100506. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0100506

82. Fuermaier ABM, Tucha L, Koerts J, et al. Good vibrations — effects of whole body vibration on attention in healthy individuals and individuals with ADHD. *PLoS One*. 2014;9:e90747. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0090747

83. Shantakumari N, Ahmed M. Whole body vibration therapy and cognitive functions: a systematic review. *AIMS Neurosci*. 2023;10:130. doi: 10.3934/NEUROSCIENCE.2023010 EDN: GRJNZA

84. Korovina ES, Glazkova EN, Shirolapov IV, et al. Sensorimotor potentiation of motor imagination as an activator of CNS plasticity. *Science and Innovations in Medicine*. 2016;(3(3)):33-38. EDN: YKMVRF

85. Bazanova OM, Balioz NV, Ermolaeva SA, et al. Study of psychophysiological indicators of sensorimotor Integration in PTSD. Justification of the choice of targets for biofeedback. *Fiziologiâ čeloveka*. 2024;50(3):63–80. doi: 10.31857/S0131164624030061 EDN: BUNHPP

86. Shirolapov IV, Zakharov AV, Bulgakova SV, et al. Alzheimer dementia as a consequence of the brain glymphatic system dysfunction. *Psychiatry, psychotherapy and clinical psychology*. 2023;14(3):291–300. doi: 10.34883/PI.2023.14.3.004 EDN: RHKPXK

87. Halmai B, Holsgrove TP, Vine SJ, et al. The after-effects of occupational whole-body vibration on human cognitive, visual, and motor function: A systematic review. *Appl Ergon*. 2024;118:104264. doi: 10.1016/j.apergo.2024.104264 EDN: YUAYLG

88. Zakharov AV, Bratchenko IA, Bratchenko LA, et al. Deep learning of surface-enhanced Raman spectroscopy data for multiple sclerosis diagnostics. *Eur. Phys. J. Spec. Top*. 2025. doi: 10.1140/epjs/s11734-024-01449-z EDN: WTPIUS

89. Chang CM, Tsai CH, Lu MK, et al. The neuromuscular responses in patients with Parkinson's disease under different conditions during whole-body vibration training. *BMC Complement Med Ther*. 2022;22(1):2. doi: 10.1186/s12906-021-03481-1 EDN: EPXWTW

90. Choi ET, Kim YN, Cho WS, Lee DK. The effects of visual control whole body vibration exercise on balance and gait function of stroke patients. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(11):3149–3152. doi: 10.1589/jpts.28.3149 EDN: YEVQRX

91. Wen J, Leng L, Hu M, et al. Effects of whole-body vibration training on cognitive function: a systematic review. *Front Hum Neurosci*. 2023;17:854515. doi: 10.3389/FNHUM.2023.854515/BIBTEX EDN: DCLCWU

92. Pyatin VF, Sergeeva MS, Shirolapov IV. Blinking as a mechanism for controlling retinal illumination and the function of its photosensitive ganglion cells. *Biomedical Radioelectronics*. 2014;(4):67–68. EDN: SEAPAH

93. Escudero-Uribe S, Hochsprung A, Heredia-Camacho B, Izquierdo-Ayuso G. Effect of training exercises incorporating mechanical devices on fatigue and gait pattern in persons with relapsing-remitting multiple sclerosis. *Physiother Can*. 2017;69(4):292–302. doi: 10.3138/ptc.2016-19

94. Shirolapov IV, Zakharov AV, Shishkina AA, et al. Efficiency of computerized cognitive training for prevention of cognitive impairments and stimulation of neuroplasticity. *Adv Gerontol*. 2024;37(3):221–229. doi: 10.34922/AE.2024.37.3.007 EDN: EXVQXA

95. Gonçalves de Oliveira R, Coutinho HM, Martins MNM, et al. Impacts of whole-body vibration on muscle strength, power, and endurance in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2023;12(13):4467. doi: 10.3390/jcm12134467 EDN: WFQNUU

96. Van Heuvelen MJG, Rittweger J, Judex S, et al. Reporting guidelines for whole-body vibration studies in humans, animals and cell cultures: a consensus statement from an international group of experts. *Biology*. 2021;10(10):965. doi: 10.3390/biology10100965 EDN: YVESJM

97. Shirolapov IV, Zakharov AV, Smirnova DA, et al. The role of the glymphatic clearance system in the mechanisms of the interactions of the sleep-waking Cycle and the Development of Neurodegenerative Processes. *Neurosci Behav Physi*. 2024;54(2):199–204. doi: 10.1007/s11055-024-01585-y EDN: HZDLCQ

98. Moreira-Marconi E, Teixeira-Silva Y, Meirelles AG, et al. inflammatory biomarker responses to whole-body vibration in subjects with different clinical status: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(22):14853. doi: 10.3390/ijerph192214853 EDN: IOLLIZ

99. Yin Y, Wang J, Yu Z, et al. Does whole-body vibration training have a positive effect on balance and walking function in patients with stroke? A meta-analysis. *Front Hum Neurosci*. 2023;16:1076665. doi: 10.3389/fnhum.2022.1076665 EDN: AEQNIV

ОБ АВТОРАХ

*** Широлапов Игорь Викторович**, канд. мед. наук, доцент, заведующий, лаб. Трансляционных исследований и персонализированной медицины НИИ нейронаук, доцент, каф. физиологии;
адрес: Россия, 443079, Самара, ул. Гагарина, д. 18;
ORCID: 0000-0002-7670-6566;
eLibrary SPIN: 3939-3590;
e-mail: ishirolapov@mail.ru

Павлова Ольга Николаевна, д-р биол. наук, доцент, заведующий, каф. физиологии;
ORCID: 0000-0002-8055-1958;
eLibrary SPIN: 6326-6884;
e-mail: o.n.pavlova@samsmu.ru

Гуленко Ольга Николаевна, канд. биол. наук, доцент, каф. физиологии;
ORCID: 0000-0001-6338-7095;
eLibrary SPIN: 6795-5163;
e-mail: o.n.gulenko@samsmu.ru

Москвитина Полина Михайловна, ассистент, каф. физиологии;
ORCID: 0000-0002-0666-7442;
eLibrary SPIN: 5788-5795;
e-mail: p.m.moskvitina@samsmu.ru

AUTHORS' INFO

*** Igor V. Shirolapov**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor, Head, Translational Research and Personalized Medicine Lab., Neurosciences Research Institute, Associate Professor, Depart. of Physiology;
address: 18 Gagarin St, Russia, Samara, 443079;
ORCID: 0000-0002-7670-6566;
eLibrary SPIN: 3939-3590;
e-mail: ishirolapov@mail.ru

Olga N. Pavlova, Dr. Sci. (Biology), Assistant Professor, Head, Depart. of Physiology;
ORCID: 0000-0002-8055-1958;
eLibrary SPIN: 6326-6884;
e-mail: o.n.pavlova@samsmu.ru

Olga N. Gulenko, Cand. Sci. (Biology), Assistant Professor, Depart. of Physiology;
ORCID: 0000-0001-6338-7095;
eLibrary SPIN: 6795-5163;
e-mail: o.n.gulenko@samsmu.ru

Polina M. Moskvitina, Assistant Lecturer, Depart. of Physiology;
ORCID: 0000-0002-0666-7442;
eLibrary SPIN: 5788-5795;
e-mail: p.m.moskvitina@samsmu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author