

<https://doi.org/10.36425/rehab20644>

Тренировка функции сохранения равновесия при низких показателях физической подготовленности средствами виртуальной реальности

А.М. Котов-Смоленский, А.С. Клочков, А.Е. Хижникова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии» (НЦН), Москва, Российская Федерация

Обоснование. Степень двигательной активности человека зачастую является определяющим фактором здоровья и долголетия человека. Малоподвижный образ жизни служит предпосылкой к развитию многих заболеваний и негативно сказывается на гармоничном физическом развитии человека. Результатом низкой физической подготовленности является снижение координации движений и функции сохранения равновесия, что в свою очередь может служить причиной падений и травм. На сегодняшний день, у здоровых людей трудоспособного возраста и подростков не всегда представляется возможным организовать мероприятия физкультурного характера, однако решением данного вопроса могут послужить современные технологии реабилитации. **Цель** — анализ эффективности комплекса физических упражнений, выполняемого в виртуальной среде, с целью тренировки функции сохранения равновесия у людей с низкой физической подготовленностью. **Методы.** В экспериментальной группе выполнялся комплекс физических упражнений в виртуальной среде с дополнительными педагогическими условиями, обеспечивающими нестабильную опору, а добровольцы контрольной группы продолжали двухнедельные занятия в рамках комплексного моторного обучения. **Результаты.** В исследовании приняло участие 20 добровольцев женского пола (в возрасте от 16 до 17 лет), которые были разделены на две равные, сопоставимые по возрасту ($p > 0,05$) группы. Статистический анализ данных, полученных по окончании курса тренировок, показал отсутствие имевшегося до начала исследования достоверного различия между экспериментальной и контрольной группами в показателях максимального отклонения туловища в инструментальном тесте Ромберга ($p = 0,11$), при стойке на мысках с закрытыми глазами ($p = 0,24$), а также по времени устойчивости в пробе Бондаревского ($p = 0,07$). **Заключение.** Выполнение физических упражнений с визуальной поддержкой биологической обратной связи в системе виртуальной реальности может содействовать интенсификации обучающего процесса, оказывать благоприятное воздействие на профилактику малоподвижного образа жизни, а также способствовать тренировке функции равновесия как одной из важнейших способностей человека, определяющих его двигательные возможности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, малоподвижный образ жизни, биологическая обратная связь, тренировка равновесия, физическое развитие.

Для цитирования: Котов-Смоленский А. М., Клочков А. С., Хижникова А. Е. Тренировка функции сохранения равновесия при низких показателях физической подготовленности средствами виртуальной реальности. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2020;2(1):4–10. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab20644>

Поступила: 06.02.2020 **Принята:** 20.02.2020

Обоснование

Функция поддержания равновесия является одной из важнейших способностей человека, определяющих его двигательные возможности. Многообразие двигательных действий (ходьба, бег, прыжки, метания, спортивная деятельность) тесно связано с возможностью человека сохранять равновесие тела, что обуславливает рациональную работу мышечно-аппарата и физиологических систем, влияющих на эффективность двигательной деятельности [1]. На первый взгляд кажется, что целенаправленная тренировка функции равновесия необходима в про-

цессе выполнения сложных специфических двигательных действий и характерна для спорта высших достижений, однако выполнение даже относительно несложных движений требует достаточно высокого уровня развития систем, отвечающих за поддержание баланса [2]. К тому же сохранение равновесия в статичной позе (рабочая поза за столом, рулем машины и т. д.) является неотъемлемой составляющей ежедневной двигательной активности современных людей, а недостаточное развитие координаторной функции может служить причиной падений и последующих травм.

Balance Training at Low Physical Fitness Using Virtual Reality System

A.M. Kotov-Smolenskiy, A.S. Klochkov, A.E. Khizhnikova

Federal State Budgetary Scientific Institution “Research Center of Neurology”, Moscow, Russian Federation

Background. Personal degrees of motor activity frequently is a determining factor of human health and longevity. A sedentary lifestyle is a precondition for the development of many diseases and adversely affect the harmonious physical development of a person. The result of poor physical fitness is reduced movement coordination and the balance function, which can cause falls and injuries. Today, it is not always possible for healthy people of working age and adolescents to organize physical education events, however, modern rehabilitation technologies can serve as a solution to this issue. **Aims** — analysis of the effectiveness of balance training physical exercises performed in a virtual environment, in people with low physical fitness. **Methods.** In the experimental group, a set of physical exercises were performed in a virtual environment, in the control group — in a real environment with additionally created pedagogical conditions aimed at the position of greater instability using gymnastic pads of different stiffness, and foam material bar. **Results.** The study involved 20 female volunteers (aged 16 to 17 years), who were divided into two equal groups, comparable in age ($p > 0.05$). A statistical analysis of the data obtained at the end of the training course showed that experimental and control groups in the maximum torso deviation in the Romberg instrumental test ($p = 0.11$) when standing on toes with eyes closed ($p = 0.24$), and the stability time in the Bondarevsky test ($p = 0.07$) are no longer significantly different. **Conclusions.** Performing physical exercises with visual support for biological feedback in a virtual reality system can contribute to the intensification of the learning process, have a beneficial effect on the prevention of a sedentary lifestyle, and also contribute to the training of the balance function, as one of the most important human abilities that determine its motor capabilities.

Keywords: virtual reality, low physical fitness, musculoskeletal system, biofeedback, balance training, physical development.

For citation: Kotov-Smolenskiy AM, Klochkov AS, Khizhnikova AE. Balance Training at Low Physical Fitness Using Virtual Reality System. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation.* 2020;2(1):4–10. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab20644>

Received: 06.02.2020 **Accepted:** 20.02.2020

Вторичным фактором (но не менее важным) выступает малоподвижный образ жизни современных людей, обусловленный техническим прогрессом. Гиподинамия и гипокinezия влекут за собой неблагоприятные последствия для организма людей, систематически не занимающихся физической культурой и, как следствие, снижают их работоспособность [3, 4].

Еще одной значимой проблемой может являться отсутствие условий (ввиду труднодоступности специальных площадок, помещений или дороговизны специального инвентаря) для организации мероприятий физкультурного характера, направленных на профилактику малоподвижного образа жизни.

На сегодняшний день все больше внимания уделяется созданию комплексов психоэмоциональной и психофизической разгрузки для людей, подверженных повышенному стрессу и малой подвижности. В основе таких комплексов могут лежать различные технологии, в том числе и технологии виртуальной реальности. Главной особенностью технологий виртуальной реальности является возможность моделирования любого пространства в виртуальной среде в зависимости от поставленных целей. Так,

например, виртуальная реальность может использоваться в обучении профессиям, требующим ощутимых финансовых затрат при практическом обучении и сопряженным с повышенным риском для жизни (пилот самолета, диспетчер, машинист). Эффективность подобных технологий обусловлена наличием биологической обратной связи, которая позволяет пользователю формировать двигательный навык, получая информацию о правильных и неправильных движениях в реальном времени.

Цель исследования — провести анализ эффективности комплекса физических упражнений, выполняемого в виртуальной среде, с целью тренировки функции сохранения равновесия у людей с низкой физической подготовленностью.

Методы

Дизайн исследования

В данном исследовании приняло участие 20 здоровых добровольцев, распределенных на 2 группы на основании признаков физической подготовленности: основную группу составили добровольцы, у которых отсутствовали систематические занятия

Рис. 1. Пример инструментальной оценки стойки на мысках с закрытыми глазами в программе Habilect H. MotionLab



физической культурой или спортом; в группу контроля вошли студенты, обучающиеся по направлению подготовки «Физическая культура».

До начала и по окончании медицинского вмешательства у каждого из участников проводилась оценка устойчивости с использованием 2 инструментальных тестов (посредством инфракрасного сенсора Microsoft Kinect), включающих тест Ромберга и стойку на мысках с закрытыми глазами (в обоих случаях), а также классическая проба Бондаревского.

Продолжительность каждого инструментального теста составляла 15 сек, в течение которых система производила свыше 450 замеров, что обеспечивало

сбор большого числа данных для оценки смещения туловища испытуемых. Одним из основных оцениваемых параметров было максимальное отклонение туловища от исходного положения (в см) во время тестирования (рис. 1).

Выполнение пробы Бондаревского заключалось в поддержании равновесия в одноопорном (стоя на одной ноге) положении с закрытыми глазами. Основным оцениваемым параметром было время (в сек), в течение которого добровольцу удавалось сохранять равновесие.

Критерии соответствия

Критериями включения были условия отсутствия у добровольцев травм или особенностей опорно-двигательного аппарата, заболеваний или отклонений неврологического характера, способных оказать влияние на результат исследования. Также основным критерием включения добровольцев в экспериментальную группу было отсутствие у них физической активности, выходящей за плато ежедневной двигательной деятельности (бытовой/ профессиональной).

Условия проведения

Исследование проводилось на базе отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии» (Москва), а также «Института естествознания и спортивных технологий» ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет». Группу контроля составили студенты, обучающиеся по специальности «Физическая культура» в ГБПОУ «Педагогический колледж № 18» (Москва).

Продолжительность исследования

Исследование длилось в течение 2 мес. Курс тренировок проводился 5 раз в нед, в течение 2 нед. Общее время, затрачиваемое на ежедневное выполнение комплекса упражнений, составляло 27 мин.

Добровольцы контрольной группы после первичного тестирования продолжали заниматься в течение 2 нед привычной физической активностью в рамках комплексной физической подготовки студентов по специальности «Физическая культура», после чего им проводилось повторное тестирование.

Описание медицинского вмешательства

В экспериментальной группе применялась методика, подразумевавшая выполнение комплекса физических упражнений в виртуальной среде, что обеспечивалось с помощью инфракрасного сенсора Microsoft Kinect, а также системы виртуальной реальности Rehabunculus (Интеллект и Иннова-

ции, Россия). Программное обеспечение системы Rehabunculus представляет собой виртуальное пространство, имитирующее гимнастический зал, и включает различные комплексы упражнений для развития двигательных навыков, в число которых входят и упражнения для тренировки функции равновесия. При этом в реальной среде с помощью трех гимнастических подушек различной жесткости, а также гимнастического бруса из вспененного материала (AIREX Balance Beam) участникам исследования дополнительно были созданы педагогические условия, направленные на положение большей неустойчивости.

Методика тренировок состояла из восьми упражнений, выполняемых в виртуальной среде.

1. Упражнение «Дартс»: тренировка статодинамического баланса посредством смещений общего центра масс и сохранения определенного полого положения для осуществления выстрела виртуального дротика.
2. Упражнение «Шаги» для левой и правой ноги: тренировка динамического баланса посредством выполнения шагов с высоким подниманием бедра. Для большей неустойчивости использовался AIREX Balance Beam.
3. Упражнение «Вышибалы»: тренировка динамического баланса посредством выполнения приставных шагов. Для большей неустойчивости использовался AIREX Balance Beam.
4. Упражнение «Уклонения»: тренировка статодинамического баланса посредством выполнения наклонов туловища влево и вправо. Для большей неустойчивости каждая нога испытуемого располагалась на специальной гимнастической подушке.
5. Упражнение «Чеканка мяча» для левой и правой ноги: тренировка статодинамического равновесия в одноопорном положении. Для большей неустойчивости опорная нога располагалась на гимнастической подушке.
6. Упражнение «Ходьба по доске»: тренировка динамического баланса посредством ходьбы в неустойчивой среде:
 - тандемная ходьба (приставляя мысок к пятке), руки вытянуты перед собой;
 - ходьба на мысках, руки на пояс;
 - ходьба на пятках, руки за головой.

Для большей неустойчивости в процессе ходьбы использовался AIREX Balance Beam (рис. 2).

Программное обеспечение используемого комплекса позволяет для каждого упражнения производить индивидуальные настройки: продолжительность занятия (от 1 до 5 мин), уровень сложности

Рис. 2. Тренировка равновесия в виртуальной среде



Примечание. Упражнение «Ходьба по доске» с использованием гимнастического бруса из вспененного материала (AIREX Balance Beam): приставляя мысок к пятке (а); на мысках, руки на пояс (б); на пятках руки за головой (в).

(очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий). В нашем исследовании уровень сложности для каждого упражнения устанавливался «высокий», длительность каждого упражнения составляла 3 мин, после первых четырех упражнений добровольцам предоставлялся трехминутный отдых.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ «НЦН». Выписка из протокола ЛЭК 8-4/19 от 11.09.2019.

Методы статистического анализа данных

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью критериев Манна-Уитни (при сравнении независимых выборок), Уилкоксона (при сравнении зависимых выборок). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследовании приняло участие 20 добровольцев женского пола (в возрасте от 16 до 17 лет), которые были разделены на две сопоставимые по возрасту ($p > 0,05$) группы. В экспериментальную группу вошли 10 добровольцев, чья повседневная и рабочая деятельность не была связана с систематическими занятиями физической культурой или спортом, а общее количество физической активности в неделю составляло 150 мин/нед в рамках целенаправленной физической активности. Группу контроля составили 10 добровольцев, регулярно занимавшихся физической активностью, направленной на всестороннее развитие моторных навыков, общее количество времени физической активности которых составляло 450 мин в неделю в рамках подготовки специалистов по физической культуре.

Рис. 3. Сравнение показателей отклонения тела в пробе Ромберга

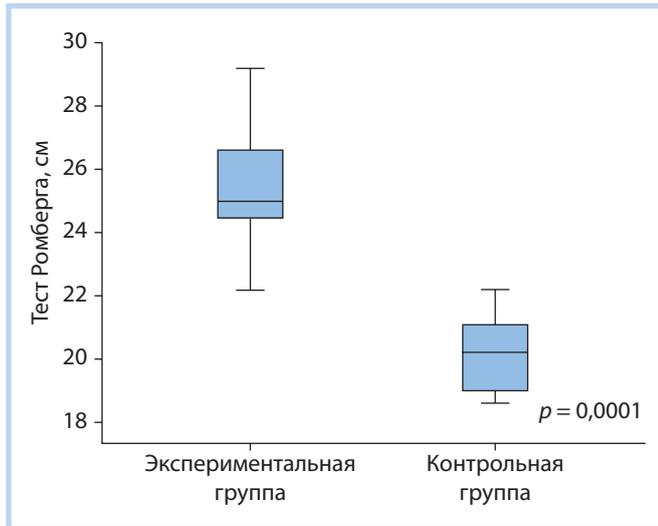


Рис. 4. Сравнение показателей отклонения тела при стойке на мысках с закрытыми глазами

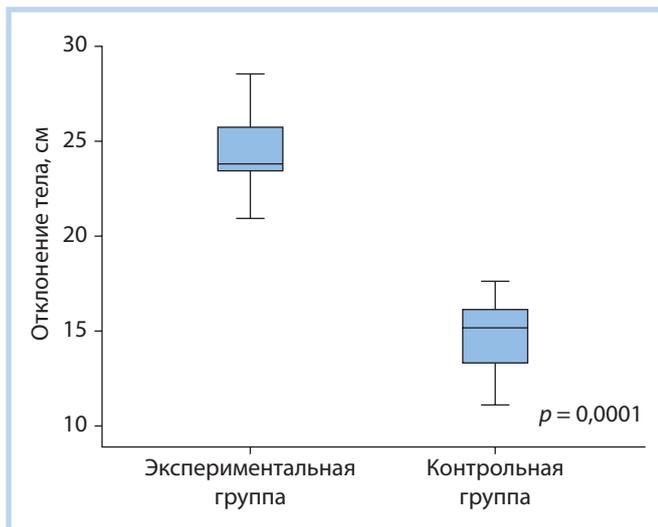
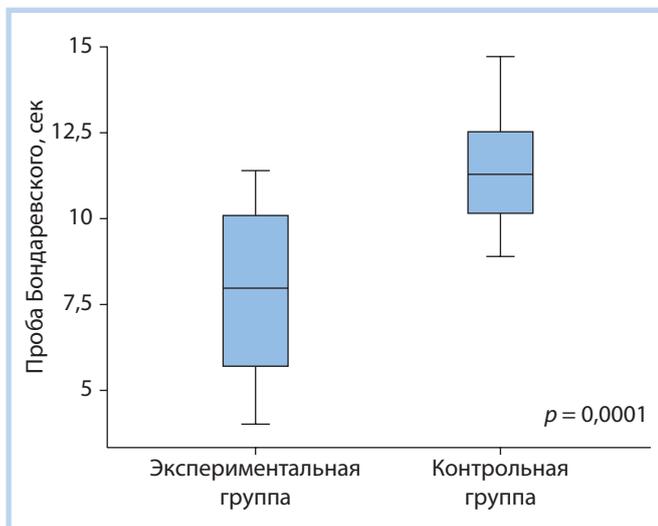


Рис. 5. Сравнение показателей времени устойчивости в пробе Бондаревского



Основные результаты исследования

Функция сохранения равновесия тела на рефлекторном уровне обеспечивается с помощью вестибулярного аппарата, зрительного анализатора, проприоцептивного и тактильного чувства [5], совершенствуясь посредством систематических физических тренировок [6]. Тем не менее разнообразие афферентных связей, доступных человеку в процессе обычных физических тренировок, может быть подкреплено мультимодальной биологической обратной связью для достижения большей эффективности обучающего процесса. В ряде исследований было показано, что использование в виртуальной среде «аватара» с видом от третьего лица приводило к лучшим результатам тренировки равновесия и устойчивости [7, 8].

Выполнение комплекса физических упражнений в виртуальной среде с визуальной поддержкой биологической обратной связи, несомненно, является удобным решением в вопросе профилактики малоподвижного образа жизни. Возможность гибко менять педагогические условия для реализации тренировочного процесса позволяет создавать комнаты психофизической разгрузки для различных целей с последующим полезным эффектом.

На момент включения в исследование инструментальное тестирование функции поддержания равновесия показало, что в тесте Ромберга медиана максимальных отклонений тела испытуемых в экспериментальной группе составила 25 см [24; 27], а в группе контроля — 20,2 см [19; 21] ($p < 0,05$); рис. 3.

Инструментальный анализ стойки на мысках с закрытыми глазами также выявил исходные различия групп: так, в экспериментальной группе максимальное отклонение тела составило 23,7 см [23; 26], в контрольной — 15,1 см [13; 16,4] ($p < 0,05$); рис. 4.

Анализ поддержания баланса в пробе Бондаревского показал, что медиана максимального времени удержания равновесия в экспериментальной группе составила 5,7 сек [4,7; 7,4], в то время как в группе контроля — 10,25 сек [9,7; 12,3] ($p < 0,05$); рис. 5.

Проанализировав степень устойчивости в обеих группах, были получены данные, которые позволили заключить, что исследуемые группы достоверно отличаются друг от друга по всем трем тестам, и дальнейшая проверка гипотезы будет заключаться в уменьшении степени различий между экспериментальной группой и группой контроля.

Анализ результатов тестирований спустя 2 нед наблюдения показал достоверное ($p < 0,05$) улучшение функции равновесия в экспериментальной группе и тенденцию к улучшению в контрольной. Так, медиана максимальных отклонений тела при выполнении те-

Таблица 1. Сводная таблица результатов обследования испытуемых обеих групп в динамике на фоне тренировок с использованием виртуальной реальности

Группа	Тест Ромберга (Ме, тах, см)		Проба на мысках (Ме, тах, см)		Проба Бондаревского (Ме, сек)	
	До	После	До	После	До	После
Экспериментальная, $n = 10$	25 [24; 27]	15,7 [13,1; 17,5]	23,7 [23; 26]	13,3 [11,5; 15,5]	5,7 [4,7; 7,4]	10 [9,2; 10,8]
Контрольная, $n = 10$	20,2 [19; 21]	16,8 [16,2; 19]*	15,1 [13; 16,4]	12,3 [11,2; 14]**	10,25 [9,7; 12,3]	11,7 [10,7; 14]

Примечание. * — $p = 0,11$; ** — $p = 0,24$.

ста Ромберга и стойки на мысках с закрытыми глазами в экспериментальной группе составила 15,7 [13,1; 17,5] ($p = 0,0041$) и 13,3 [11,5; 15,5] см ($p = 0,0046$), тогда как в контрольной группе — 16,8 [16,2; 19] ($p = 0,005$) и 12,3 [11,2; 14] см ($p = 0,0062$) соответственно.

Анализ результатов поддержания баланса в пробе Бондаревского после эксперимента показал, что медиана времени сохранения равновесия в одноопорном положении достоверно увеличилась по сравнению с исходным значением как в экспериментальной, так и в контрольной группах и составила 10 [9,2; 10,8] и 11,7 [10,7; 14] сек соответственно ($p < 0,05$).

Статистический анализ данных, полученных по окончании курса тренировок, не выявил достоверных различий между экспериментальной и контрольной группами в показателях максимального отклонения туловища в инструментальном тесте Ромберга ($p = 0,11$) и при стойке на мысках с закрытыми глазами ($p = 0,24$), а также достоверных различий по времени устойчивости при пробе Бондаревского ($p = 0,07$) (табл. 1).

Нежелательные явления

Для регистрации нежелательных явлений использовался метод устного опроса добровольцев (самоконтроль), по результатам которого было выявлено (количество случаев — 3), что единственным нежелательным явлением было утомление мышц передней группы голени, что, вероятно, может быть связано с интенсивным использованием голеностопной стратегии в процессе поддержания равновесия во время выполнения специальных упражнений, а также использования нестабильной опоры.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

Исходя из полученных данных, было сделано следующее заключение: отсутствие статистически достоверных различий между результатами инструментального теста Ромберга и оценки стойки на мысках после курса тренировок в экспериментальной

группе и группе контроля подтверждает эффективность разработанной методики. Однако тенденция, наблюдаемая при сравнении различий между группами в функции сохранения равновесия в одноопорном положении в пробе Бондаревского после курса тренировок, может быть связана с тем, что методика тренировки равновесия в виртуальной реальности была преимущественно направлена на тренировку функции поддержания баланса с использованием опоры на две ноги, в то время как двигательная деятельность добровольцев контрольной группы была более разнонаправлена и способствовала тренировке поддержания равновесия при опоре на одну ногу, что позволило добровольцам этой группы показать в данной пробе более высокие результаты.

Отсутствие при повторном обследовании достоверных различий в результатах инструментальной оценки функции сохранения равновесия с опорой на две ноги (тест Ромберга и проба на мысках) между экспериментальной группой и группой контроля демонстрирует эффект комплекса физических упражнений в виртуальной среде. Однако результаты пробы Бондаревского и их сравнение между группами могут свидетельствовать о том, что используемый в виртуальной среде системы Rehabunculus комплекс тренировок нуждается в дополнении упражнениями, нацеленными на поддержание равновесия в одноопорном положении.

Ограничение исследования

Данное исследование ограничено размером выборки испытуемых, нуждается в увеличении мощности, дальнейшей доработке комплекса упражнений с более детальным анализом воздействий мультимодальной биологической обратной связи в процессе физических тренировок.

Заключение

Опираясь на результаты исследования, можно заключить, что физическая тренировка в виртуальной среде имеет определенный потенциал и может использоваться в условиях отсутствия возможностей

проведения мероприятий физкультурной направленности.

Источник финансирования

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ НЦН.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Список литературы / Referens

1. Назаренко Л.Д. Содержание и структура равновесия как двигательного-координационного качества // *Теория и практика физической культуры*. — 2000. — № 1. — С. 23. [Nazarenko LD. Soderzhaniye i struktura ravnovesiya kak dvigatel'no-koordinatsionnogo kachestva. *Teor Prak Fiz Kult.* 2000;(1):23. (In Russ).]
2. Корсаков С.В., Солодов И.А., Шатагин А.Н., и др. Тренировка для развития равновесия при обучении передвижению на лыжероллерах // *Ученые записки университета Лесгафта*. — 2016. — № 8. — С. 79–96. [Korsakov SV, Solodov IA, Shatagin AN, et al. Complex of exercises to improve stability in roller skis movement training. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta.* 2016;(8):79–96. (In Russ).]
3. Баккур Х.А. *Изддержки научно-технического прогресса — гипокинезия и гиподинамия / Диалог языков и культур: сб. материалов I Междунар. VII Респ. студ. чтений, Минск, 22 нояб. 2017 г. / Под ред. Т.Н. Мельникова*. — Минск: БГМУ, 2018. — С. 56–59. [Bakkur KhA. *Izderzhki nauchno-tekhnicheskogo progressa — gipokineziya i gipodinamiya*. In: *Dialog yazykov i kul'tur: sb. materialov I Mezhdunar. VII Resp. stud. chteniy, Minsk, 22 noyab. 2017. Ed by. T.N. Mel'nikov. Minsk: BGMU; 2018. Pp. 56–59. (In Russ).]*
4. Беликова О.Ю., Ломоносова Г.Г., Калько А.А. Гиподинамия и ее влияние на состояние здоровья студентов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2016. — № 11–4. — С. 619–620. [Belikova OYu, Lomonosova GG, Kal'ko AA. Gipodinamiya i eye vliyaniye na sostoyaniye zdorov'ya studentov. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy.* 2016;(11-4):619–620. (In Russ).]
5. Трофимов О.Н. Развитие равновесия на занятиях по лыжной подготовке / О.Н. Трофимов // *Физическая культура в школе*. — 2014. — № 8. — С. 21–28. [Trofimov ON. Development of balance on classes in ski preparation. *Fizicheskaya kul'tura v shkole.* 2014;(8):21–28. (In Russ).]
6. Назаренко А.С., Чинкин А.С. Влияние вестибулярного раздражения на статокинетическую устойчивость спортсменов различных специализаций // *Наука и спорт: современные тенденции*. — 2015. — Т. 7. — № 2. — С. 78–85. [Nazarenko AS, Chinkin AS. Vliyaniye vestibulyarnogo razdrzheniya na statokineticeskuyu ustoychivost' sportsmenov razlichnykh spetsializatsii. *Nauka i sport: sovremennyye tendentsii.* 2015;7(2):78–85. (In Russ).]
7. Cano Porras D, Siemonsma P, Inzelberg R, et al. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review. *Neurology.* 2018;90(22):1017–1025. doi: 10.1212/WNL.0000000000005603.
8. Darekar A, McFayden B, Lamontagne A, Fung J. Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil.* 2015;12:46. doi: 10.1186/s12984-015-0035-3.

Информация об авторах

А.М. Котов-Смоленский — мл. научный сотрудник, инструктор-методист ЛФК ФГБНУ «Научный центр неврологии»; e-mail: A.kotov.smolenskiy@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2738-9939>

А.С. Клочков — к.м.н., ст. научный сотрудник, врач-невролог ФГБНУ «Научный центр неврологии»; e-mail: Klochkov@neurology.ru

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-3338>

Участие авторов

А.М. Котов-Смоленский — разработка дизайна исследования, набор экспериментального материала, исследование функции равновесия, проведение тренировок, подготовка публикации. **А.С. Клочков** — подготовка публикации, статистический анализ. **А.Е. Хижникова** — разработка дизайна исследования, подготовка публикации. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.