

<https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на психофизиологические параметры и функцию равновесия в пожилом возрасте

А.Е. Хижникова¹, А.С. Клочков¹, А.М. Котов-Смоленский¹, А.А. Фукс², Н.А. Супонева¹, М.А. Пирадов¹

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научный центр неврологии», Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация

Обоснование. Нарушение функции равновесия является одной из самых распространенных проблем у людей пожилого возраста. Исследования показывают, что время реакции на визуальный и аудиальный стимул является показателем процессов ингибирования, играющих решающую роль в поддержании равновесия у пожилых людей, а тесты времени реакции ингибирования могут служить предиктором риска падений у пожилых. Одним из преимуществ технологии виртуальной реальности является возможность реализации когнитивно-моторных тренировок. Высказывается мнение, что тренировки в виртуальной среде способствуют улучшению реакции на быструю смену обстановки, внимания, пространственно-временной памяти и планирования, что благоприятно сказывается на постуральных функциях. Тем не менее в настоящий момент влияние тренировок в виртуальной среде на нейродинамические процессы недостаточно изучено. **Цель исследования** — изучить статус и динамику психофизиологических показателей, и их взаимосвязь с функцией равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов с хронической ишемией головного мозга. **Методы.** В исследовании приняло участие 24 человека. В экспериментальную группу вошло 14 пациентов с подтвержденным диагнозом хронической ишемии головного мозга. В группе здоровых добровольцев проводилось тестирование на системе УПФТ-1/30 «Психофизиолог». Пациенты, включенные в экспериментальную группу, проходили тестирование по клиническим шкалам (шкала баланса Берг и шкала МоСА), а также инструментальную оценку на УПФТ-1/30 «Психофизиолог». Все пациенты проходили когнитивно-моторную тренировку на системе виртуальной реальности Rehabunculus (Россия), направленную на восстановление функции равновесия. **Результаты.** На фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов было отмечено достоверное ($p=0,01$) улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг, а также уменьшение количества ошибок при выполнении теста простой зрительно-моторной реакции, улучшение стабильности скорости простой зрительно-моторной реакции. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$). **Заключение.** Полученные данные позволяют сделать вывод, что объективные показатели скорости реакции на визуальный раздражитель могут служить маркерами процессов адаптации нервной системы на фоне проведения когнитивно-моторных тренировок, которые в свою очередь оказывают положительный эффект на функцию равновесия.

Ключевые слова: цереброваскулярные заболевания, реабилитация, пожилые, время реакции, психофизиология.

Для цитирования: Хижникова А. Е., Клочков А. С., Котов-Смоленский А. М., Фукс А. А., Супонева Н. А., Пирадов М. А. Влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на психофизиологические параметры и функцию равновесия в пожилом возрасте. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация.* 2020;2(4):292–302. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Поступила: 28.11.2020 Принята: 01.12.2020

Список сокращений

ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция
СВР — среднее время реакций

СЗМР — сложная зрительно-моторная реакция
ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга
ЦНС — центральная нервная система

The Effect of Virtual Reality Based Cognitive-Motor Training on Psychophysiological Parameters and Balance Function in the Elderly

A.E. Khizhnikova¹, A.S. Klochkov¹, A.M. Kotov-Smolenskiy¹, A.A. Fuks², N.A. Suponeva¹, M.A. Piradov¹

¹ Research Center of Neurology, Moscow, Russian Federation

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Background. Balance dysfunction is one of the most common problems in older people. Research shows that response time to visual and auditory stimuli is an indicator of inhibition processes that play a critical role in maintaining balance in the elderly, and time reaction tests can predict the risk of falls in the elderly. One of the advantages of virtual reality technology is the ability to implement cognitive-motor training. It is considered that training in a virtual environment helps to improve the reaction to a rapid change of environment, attention, space-time memory, and planning, which has a beneficial effect on postural functions. Nevertheless, the effect of training in a virtual environment on neurodynamic processes has not been sufficiently studied. **Aims:** to study the status and dynamics of psychophysiological indicators and their relationship with the balance function after cognitive-motor training in a virtual environment in patients with CCI. **Methods.** The study involved 24 people. The experimental group included 14 patients with a confirmed diagnosis of chronic cerebral ischemia. A group of 10 healthy volunteers were tested on the UPFT-1/30 «Psychophysilogist» system. Patients included in the experimental group were tested using clinical scales (the Berg balance assessment scale and the MOCA scale) and instrumental assessment on UPFT-1/30 «Psychophysilogist». All patients underwent cognitive-motor training on the «Rehabunculus» virtual reality system (Russia), aimed at restoring the balance function. **Results.** After the course of cognitive-motor training in a virtual environment, the patients showed a significant ($p=0.01$) improvement in the balance functions, assessed by the Berg Balance Scale, as well as a decrease in the number of errors and an improvement in the stability of visual-motor reaction test. In addition, a negative correlation was found between the median response time and the balance function on the Berg scale ($r=-0.715$). **Conclusions.** The speed of reaction to a visual stimulus can serve as markers of the adaptation processes of the nervous system to cognitive-motor training in virtual environment, which, in turn, have a positive effect on balance function.

Keywords: cerebrovascular disorders, rehabilitation, aged, psychophysiology, reaction time.

For citation: Khizhnikova AE, Klochkov AS, Kotov-Smolenskiy AM, Fuks AA, Suponeva NA, Piradov MA. The Effect of Virtual Reality Based Cognitive-Motor Training on Psychophysiological Parameters and Balance Function in the Elderly. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2020;2(4):292–302. DOI: <https://doi.org/10.36425/rehab52594>

Received: 28.11.2020 **Accepted:** 01.12.2020

Обоснование

Как известно, нарушение функции равновесия является одной из самых распространенных проблем у людей пожилого возраста. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно происходит 37,3 млн падений, при этом самая высокая распространенность наблюдается у лиц старше 65 лет [1]. По данным отдельных исследований, риск падения в возрасте 60 лет составляет 30% и в дальнейшем он увеличивается, достигая 45% к 70 годам [2]. Одной из основных причин, влияющих на нарушение равновесия в пожилом возрасте, является замедление большого количества нейродинамических и когнитивных процессов [3], происходящее в процессе старения организма. При этом

ухудшается выполнение задач, требующих внимания [4], а наибольшее снижение наблюдается в показателях, связанных со зрительными стимулами [5]; замедление таких реакций начинается уже с 43 лет. Снижение общей адаптивности головного мозга в пожилом и старческом возрасте ведет к увеличению риска падений и инвалидизации, снижая тем самым возраст активного долголетия. Исследования показывают, что время реакции на визуальный и аудиальный стимул является показателем процессов ингибирования, играющего решающую роль в поддержании равновесия у пожилых людей [6], а тесты времени реакции ингибирования могут служить предиктором риска падений у пожилых людей [7]. Помимо общих процессов, характерных

для стареющего головного мозга, важным фактором является наличие заболеваний, приводящих к дисфункции центральной нервной системы (ЦНС). Самой частой группой заболеваний, которые встречаются в пожилом и старческом возрасте и приводят к нарушению постуральных функций, являются цереброваскулярные заболевания. Среди них ведущую позицию занимает хроническая ишемия головного мозга (ХИГМ), на которую приходится до 60% всех случаев цереброваскулярных заболеваний [8].

В настоящее время для реабилитации и поддержания двигательной активности пожилых пациентов все шире используются технологии виртуальной реальности, при этом, согласно результатам контролируемых исследований, применение данных технологий способствует улучшению психофизиологических показателей [9–12]. Одним из преимуществ технологии виртуальной реальности является возможность реализации когнитивно-моторных тренировок, которые хорошо зарекомендовали себя в реабилитации постинсультных больных и пожилых пациентов с двигательными расстройствами [10, 12].

Исследования показали, что при классической физической тренировке с включением в двигательную задачу когнитивного домена наблюдается значительное улучшение постуральной устойчивости и скорости реакции, чем исключительно при двигательной тренировке [13, 14]. В отдельных исследованиях было показано, что на фоне подобной тренировки улучшаются не только показатели устойчивости, но и память пациентов [15].

Существует предположение, что виртуальная среда может способствовать улучшению реакции на быструю смену обстановки, а также модулировать различные характеристики внимания, пространственно-временной памяти и планирования, что благоприятно сказывается на постуральных функциях [9].

Однако доказательной базы влияния когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности на нейродинамические процессы у пожилых людей в настоящее время накоплено недостаточно, поэтому данное направление исследования представляется актуальным и перспективным. Также заслуживает внимания вопрос первичности и взаимосвязи изменений психофизиологических параметров и улучшения функции равновесия. Решение указанных проблем позволит в дальнейшем сформировать более эффективные методы тренировки и поддержания функции у пожилых людей, лучше понять механизм и эффект двигательных тренировок и своевременно модифицировать тренировочный протокол в зависимости от изменяющихся потребностей у пожилых

пациентов, что в конечном счете повысит эффективность реабилитационных вмешательств и продлит период их активного долголетия.

Цель исследования — изучить статус и динамику психофизиологических показателей и их взаимосвязь с функцией равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов с ХИГМ.

Методы

Дизайн исследования

Выполнено проспективное клиническое и нейрофизиологическое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 60 до 85 лет; подтвержденный диагноз ХИГМ; наличие признаков нарушения функции статического и динамического равновесия, выявленных в ходе неврологического осмотра.

Критерии невключения: грубые нарушения по шкале MoCA (менее 10 баллов); наличие грубых зрительных нарушений, не позволяющих эффективно выполнять задачи, которые были представлены на экране; наличие других подтвержденных неврологических расстройств, повлекших нарушение статического и динамического равновесия.

Критерии исключения: добровольный отказ пациента от дальнейшего участия; возникновение дискомфортных ощущений в ходе занятий в виртуальной реальности, не позволяющих продолжать дальнейшие тренировки.

Условия проведения

Исследование проводилось на базе отделения нейрореабилитации и физиотерапии ФГБНУ «Научный центр неврологии» (Москва, Россия).

Продолжительность исследования

Исследование было начато в феврале 2020 г. при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-118.2020.7 и продолжается по настоящий момент. В статье представлены предварительные результаты исследования. Все пациенты, включенные в исследование, проходили курс тренировок на системе виртуальной реальности длительностью 30 мин, 5 раз в неделю на протяжении 2 нед.

Описание медицинского вмешательства

В исследовании приняло участие 24 человека. В экспериментальную группу вошло 14 пациентов с подтвержденным диагнозом ХИГМ. Все участники

данного исследования подписали информированное согласие. Группы были сопоставимы по возрасту, однако в экспериментальной группе преобладали пациенты женского пола.

Все пациенты проходили когнитивно-моторную тренировку на системе виртуальной реальности Rehabunculus (Россия), направленную на восстановление функции равновесия.

Когнитивно-моторная тренировка

Тренировка в экспериментальной группе подразумевала выполнение комплекса вестибулярных упражнений, содержащих когнитивный компонент, специально адаптированных и интегрированных в виртуальную среду.

Погружение в виртуальную среду осуществлялось посредством персонального компьютера, а также инфракрасного сенсора Kinect (Microsoft, США); для более эффективной визуализации виртуального пространства использовался экран с широкой диагональю.

Программное обеспечение было представлено комплексом Rehabunculus (ООО «Интеллект и инновации», Россия), включающим в себя виртуальное пространство, имитирующее специальный гимнастический зал и различные условия для выполнения физических упражнений. Помимо этого, в комплекс тренировок входили мини-игры, для успешного прохождения которых требовалось выполнение различных двигательных действий, направленных на восстановление функции равновесия (рис. 1).

Методика когнитивно-моторных тренировок состояла из ряда упражнений, направленных на развитие функции поддержания равновесия, и включала в себя такие упражнения, как «Дартс», «Перешагивание через планку» для левой и правой ноги, «Уклонение», «Вышибалы», «Футбол» для левой и правой ноги, «Пятнашки».

Упражнение «Дартс»: управление виртуальным прицелом посредством смещения общего центра масс и совмещения его с виртуальной мишенью от дартс, которая постоянно меняет свое местоположение на экране. Для совмещения прицела и мишени отводится 5 сек, по истечении которых происходит выстрел дротика, предоставляя визуальную обратную связь о степени успешности выполнения задачи.

Упражнение «Перешагивание через планку». На экране отображается аватар пользователя от 3-го лица. Данное упражнение состоит из двигательной задачи, главным смыслом которой является перешагивание виртуальной планки, при этом пользователю, помимо планки, на экране предьявляется красный след — виртуальная точка, куда необходи-

Рис. 1. Когнитивно-моторная тренировка на системе виртуальной реальности Rehabunculus



мо поставить стопу целевой ноги. След постоянно меняет место своего появления, тем самым обуславливая необходимость постоянной корректировки пространственных двигательных параметров. После успешного выполнения двигательной задачи цвет следа меняется с красного на зеленый.

Упражнение «Уклонение»: управление аватаром, представленным от 3-го лица, в сторону которого летят виртуальные мячи. Управление осуществляется посредством наклонов туловища влево и вправо, при этом перед каждым последующим появлением мяча показывается траектория его вылета, предоставляя пользователю возможность, сопоставив информацию, успешно выполнить условия данного упражнения.

Упражнение «Вышибалы»: управление аватаром, представленным от 3-го лица, в сторону которого летят виртуальные мячи. Управление осуществляется посредством приставных шагов влево и вправо, при этом перед каждым последующим появлением мяча показывается траектория его вылета, предоставляя пользователю возможность, сопоставив информацию, успешно выполнить условия данного упражнения.

Упражнение «Футбол»: пользователь управляет аватаром от 3-го лица, отбивая ногами виртуальные мячи. Каждый новый вылет мяча сопровождается показом его виртуальной траектории.

Упражнение «Пятнашки»: выполнение задач классической игры «Пятнашки» посредством перемещений пользователя в пространстве. На экран транслируются аватар от 3-го лица и поле для игры. Каждый успешный этап сопровождается загоранием зеленого индикатора под правильной цифрой виртуального поля «Пятнашек».

Уровень сложности упражнений в комплексе Rehabunculus может устанавливаться в соответствии с индивидуальными возможностями пользователей: очень легкий, легкий, средний, тяжелый, очень тяжелый. Для участников экспериментальной группы устанавливался средний уровень сложности. Курс тренировок состоял из 5 занятий в неделю в течение 2 нед. Продолжительность одного занятия составляла не более 30 мин, при этом в середине занятия пациентам предоставлялся трехминутный отдых.

Исходы исследования

Основной исход исследования: на фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде у пациентов было отмечено достоверное ($p=0,01$) улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг.

Дополнительные исходы исследования: после курса тренировок у пациентов отмечалось снижение количества ошибок при выполнении теста простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), а также отмечалось улучшение ее стабильности, что свидетельствует о положительном влиянии тренировки в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Кроме того, была выявлена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$).

Анализ в подгруппах

Разделение на подгруппы проходило с учетом пола пациентов.

Методы регистрации исходов

Оценка функции равновесия проводилась до и после курса тренировок при помощи шкалы баланса Берг. Перед началом и по окончании исследования у пациентов, допущенных к тренировкам, была проведена инструментальная оценка психофизиологических характеристик с помощью устройства психофизиологического тестирования УПФТ-1/30 «Психофизиолог» (Медиком МТД, Россия). Данный аппарат предназначен для оценки функционального состояния ЦНС, зрительного и слухового анализаторов, центрального утомления, качества сенсомоторного воздействия, оценки скорости принятия

решения и точности реагирования, оценки тонкой сенсомоторной координации — точности воспроизведения движений и их пространственных характеристик в статике и динамике. Оценка на аппарате УПФТ-1/30 «Психофизиолог» включала ПЗМР, направленную на оценку функционального состояния ЦНС, и сложную зрительно-моторную реакцию (СЗМР), направленную на оценку уровня операторской работоспособности.

В качестве оцениваемых во время психофизиологического тестирования параметров были выбраны:

- интегральный показатель надежности: для расчета показателя использовалось среднее время реакции и количество допущенных ошибок; данный показатель позволяет в процентном отношении оценить количество допущенных ошибок во время каждого ПЗМР ответа;
- уровень активации ЦНС: для расчета показателя используется среднее время ответной реакции и его среднее квадратичное отклонение; данный показатель отражает функциональное состояние ЦНС от 1 до 5, где 5 соответствует высокому уровню, а 1 — низкому;
- оценка уровня активации ЦНС: данный показатель отражает количественную оценку уровня активации ЦНС путем преобразования параметров (среднее время реакции и его среднеквадратическое отклонение) в относительные единицы, которые измеряются от 0 до 1;
- номер квадрата классификации отражает уровень функциональных возможностей ЦНС к устойчивости регуляторных механизмов, на основании сочетания показателей среднего времени реакции и среднеквадратического отклонения времени реакции (табл. 1) [16];
- среднее время реакции (СВР, в мс) отражает среднее время реакции на зрительный стимул;
- уровень быстродействия определяется на основе времени реакции, при этом меньшее время реакции соответствует большему уровню быстродействия;
- оценка быстродействия отражает уровень быстродействия в относительных единицах;
- медиана (Me) среднего времени реакции.

Здоровым добровольцам также была проведена инструментальная психофизиологическая оценка на аппарате УПФТ-1/30 «Психофизиолог» с целью определения физиологической нормы для последующего сравнения с полученными результатами в экспериментальной группе.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБНУ ИЦН. Протокол № 1-5/20 от 12.02.2020.

Таблица 1. Классификация уровней активации центральной нервной системы по методике простой зрительно-моторной реакции

Диапазоны СВР, мс		СКО ВР, мс				
		Низкая	Ниже средней	Средняя	Выше средней	Высокая
Высокое 150≤СВР<201	5	21 (0,656)	22 (0,795)	23 (0,909)	24 (0,940)	25 (0,960)
Выше среднего 201≤СВР<212	4	16 (0,523)	17 (0,634)	18 (0,725)	19 (0,750)	20 (0,766)
Среднее 212≤СВР<257	3	11 (0,361)	12 (0,437)	13 (0,500)	14 (0,517)	15 (0,528)
Ниже среднего 257≤СВР<282	2	6 (0,083)	7 (0,100)	8 (0,114)	9 (0,118)	10 (0,121)
Низкое 282≤СВР<500	1	1 (0,010)	2 (0,012)	3 (0,014)	4 (0,014)	5 (0,015)
		1	2	3	4	5
Уровни критерия, баллы / Р-оценки						

Примечание. Квадраты классификации представлены числами от 1 до 25; Р-оценки уровня активации центральной нервной системы (Р, отн. ед.) представлены в каждом квадрате в круглых скобках. СВР — среднее время реакций, СКО ВР — среднеквадратическое отклонение времени реакции.

Статистический анализ

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью критериев Манна–Уитни (при сравнении независимых выборок), Вилкоксона (при сравнении зависимых выборок), коэффициента корреляции Спирмена на персональном компьютере с применением пакета прикладных программ Statistica v. 7.0 (StatSoft, США). Данные представлены в виде медианы и квартилей (25; 75%) медианы. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты

Объекты (участники) исследования

В исследовании приняло участие 24 человека мужского и женского пола. В экспериментальную группу вошло 14 неврологических пациентов (10 женщин, 4 мужчины) с подтвержденным диагнозом дисциркуляторной энцефалопатии (хроническая ишемия головного мозга, средний возраст участников составил 71 [66; 74] год, медиана баллов по Монреальской шкале когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment, MoCA) — 24 [21; 25] балла. В группу контроля вошло 10 здоровых добровольцев, средний возраст которых составил 34 [32; 37] года. Все участники данного исследования подписали информированное согласие.

Основные результаты исследования

Полученные в ходе психофизиологического тестирования данные показали, что у большинства

пациентов наблюдалось увеличение СВР и, соответственно, значительное снижение уровня быстродействия. По общей оценке ПЗМР, согласно квадрату классификации, у пациентов наблюдались сниженный уровень активации ЦНС, преобладание процессов торможения, а также сниженный уровень функциональных возможностей ЦНС (табл. 2).

При оценке СЗМР также были выявлены статистически значимые изменения, отличающие пациентов от группы здоровых добровольцев, по следующим показателям (табл. 3):

- интегральный показатель надежности;
- уровень активации ЦНС;
- номер квадрата классификации;
- СВР;
- оценка быстродействия;
- уровень быстродействия;
- медиана СВР;
- Мах — максимальное значение СВР.

На основании данных СЗМР можно сделать вывод, что у большинства пациентов наблюдалось увеличение СВР и, соответственно, значительное снижение уровня быстродействия. По общей оценке СЗМР, согласно квадрату классификации, у пациентов наблюдалась выраженная установка на качественное выполнение задач в ущерб быстродействию.

На фоне курса тренировок во всей выборке пациентов экспериментальной группы было выявлено статистически значимое ($p=0,01$) улучшение функции равновесия по шкале баланса Берг (рис. 2).

Таблица 2. Сравнительная характеристика основных параметров простой зрительно-моторной реакции в норме и у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель ПЗМР	Норма	Пациенты с ХИГМ
Интегральный показатель надежности, %	71,5 [66,75; 75,74]	59,5 [30,75; 63,75] $p < 0,05$
Уровень активации ЦНС	3 [3; 3]	2 [0,75; 2] $p < 0,05$
Оценка уровня активации ЦНС, отн. ед.	0,5 [0,5; 0,51]	0,114 [0,09; 0,115] $p < 0,05$
Номер квадрата классификации	13 [13; 14,25]	8 [1,5; 8,25] $p < 0,05$
СВР, мс	246 [233; 255]	270 [260,5; 342,75] $p < 0,05$
Уровень быстродействия	3 [3; 3]	2 [0,75; 2] $p < 0,05$
Оценка быстродействия, отн. ед.	0,5 [0,5; 0,5]	0,1 [0,0075; 0,1] $p < 0,05$
Медиана (Me), мс	225,5 [217,75; 236,75]	252 [243,25; 287] $p < 0,05$

Примечание. ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция, ЦНС — центральная нервная система, СВР — среднее время реакции, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга.

Таблица 3. Сравнительная характеристика основных параметров сложной зрительно-моторной реакции в норме и у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель СЗМР	Норма	Пациенты с ХИГМ
Интегральный показатель надежности, %	53 [44,5; 57,5]	27 [10; 38,25] $p < 0,05$
Уровень активации ЦНС	3 [1,75; 3]	1 [0,75; 2,25] $p < 0,05$
Номер квадрата классификации	16 [13; 18,25]	5,5 [2,25; 11,5] $p < 0,05$
СВР, мс	449,5 [434; 489,25]	579 [517,5; 659,75] $p < 0,05$
Уровень быстродействия	4 [3; 4]	1,5 [0,75; 3] $p < 0,05$
Оценка быстродействия, отн. ед.	0,75 [0,5; 0,75]	0,01 [0,0075; 0,5] $p < 0,05$
Медиана (Me), мс	438,5 [415,75; 480,25]	552 [505; 661] $p < 0,05$
Максимум (Max), мс	760 [689,75; 817,5]	1062 [876,25; 1157,75] $p < 0,05$

Примечание. СЗМР — сложная зрительно-моторная реакция, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга, ЦНС — центральная нервная система, СВР — среднее время реакции.

Учитывая преобладание в экспериментальной группе пациентов женского пола, было проведено разделение пациентов на группы по полу, при этом

в группе женщин отмечалась только тенденция ($p=0,07$) к улучшению функции равновесия (рис. 3), а в группе мужчин статистически значимых измене-

Рис. 2. Функция равновесия по шкале баланса Берг до и после реабилитации (экспериментальная группа)

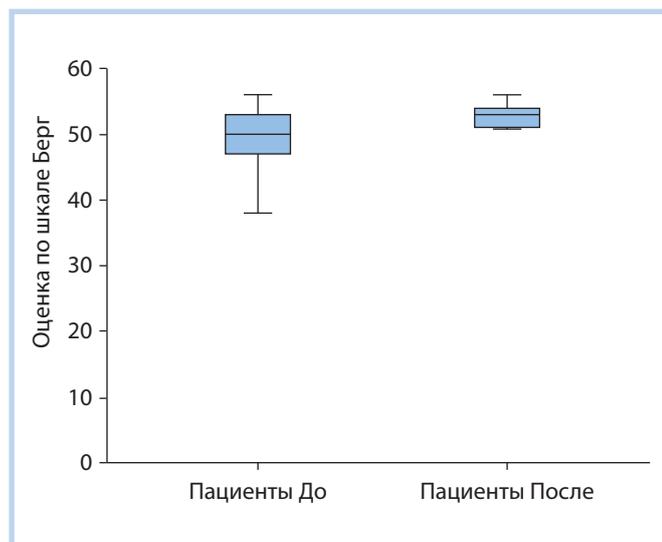
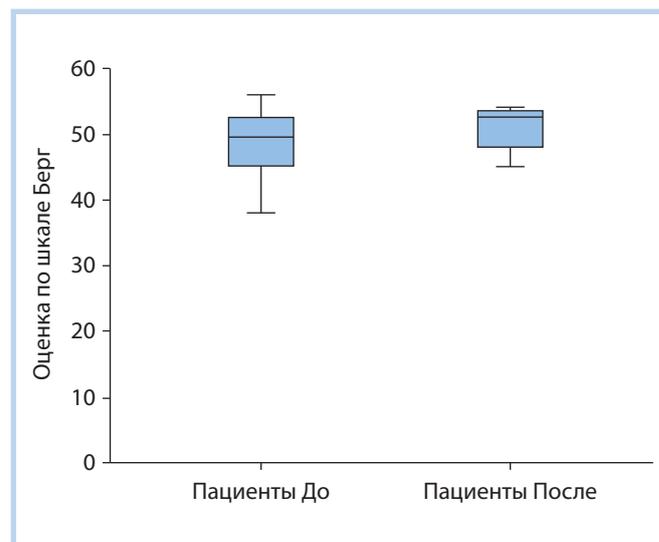


Рис. 3. Функция равновесия по шкале баланса Берг до и после реабилитации (экспериментальная группа, только женщины)



ний не выявлено, что может быть связано с малым объемом выборки пациентов мужского пола.

На фоне курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности у пациентов с ХИГМ также наблюдались изменения регистрируемых психофизиологических показателей. В частности, отмечалась положительная динамика по следующим показателям ПЗМР (табл. 4):

- уровень безошибочности отражает количество допущенных за время выполнения теста ошибок;
- уровень стабильности реакций отражает стабильность выполнения теста и зависит от СВР: чем хуже время реакции, тем больше диапазон среднего квадратичного отклонения уровня стабильности;
- оценка уровня стабильности реакций отражает оценку стабильность в относительных единицах.

Таким образом, после курса тренировок у пациентов отмечалось уменьшение количества оши-

бок за время выполнения теста, а также улучшение стабильности ПЗМР, что позволяет сделать вывод о положительном влиянии тренировки в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Тем не менее после курса реабилитации пациенты с ХИГМ продолжали отличаться от группы здоровых добровольцев.

Проведенный корреляционный анализ позволил выявить, что до курса реабилитации наблюдалась положительная корреляция показателя уровня быстрой реакции ($r=0,805$) и оценки уровня быстрой реакции ($r=0,899$) с функцией равновесия по шкале баланса Берг. Также положительные корреляции функции равновесия наблюдались с показателями уровня активации ЦНС ($r=0,805$), номером квадрата классификации ($r=0,896$), уровнем стабильности реакции ($r=0,868$) и уровнем быстрой реакции ($r=0,805$).

После курса реабилитации наблюдалась отрицательная корреляция медианы времени реакции

Таблица 4. Сравнительная характеристика основных параметров простой зрительно-моторной реакции до и после реабилитации у пожилых пациентов с хронической ишемией головного мозга (Me [25; 75%])

Показатель ПЗМР	Пациенты с ХИГМ до реабилитации	Пациенты с ХИГМ после реабилитации
Уровень безошибочности	4 [2; 4]	5 [3; 5] $p<0,05$
Уровень стабильности реакций	3 [2; 3]	4 [3; 4] $p<0,05$
Оценка уровня стабильности реакций, отн. ед.	0,5 [0,075; 0,5]	0,625 [0,5; 0,75] $p<0,05$

Примечание. ПЗМР — простая зрительно-моторная реакция, ХИГМ — хроническая ишемия головного мозга.

с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$).

На фоне проведенного курса реабилитации статистически значимых изменений по показателям СЗМР в группе пациентов не получено. Однако наблюдалось увеличение минимального времени реакции по сравнению с нормой ($p<0,05$).

До и после курса реабилитации значимых корреляций между показателями СЗМР и функцией равновесия по шкале баланса Берг не обнаружено.

Нежелательные явления

Во время проведения исследования пациенты отмечали некоторый дискомфорт из-за длительности психофизиологического исследования (40 мин). Во время проведения тренировок нежелательных реакций не отмечалось.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

Предварительные данные исследования позволили определить основные нарушения психофизиологических функций у пациентов с ХИГМ, а также их взаимосвязь с нарушением функции равновесия. После проведенного курса реабилитации выявлено статистически значимое улучшение функции равновесия на фоне тренировок в виртуальной реальности, а также изменение отдельных параметров ПЗМР, таких как уровень безошибочности и уровень стабильности реакций.

Обсуждение основного результата исследования

Результаты предварительного исследования показали, что тренировка на системе виртуальной реальности положительно влияет на функцию равновесия по шкале баланса Берг у пожилых пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом. Данные изменения не наблюдались в подгруппе мужчин, что может быть связано с небольшой выборкой (4 человека). Схожие результаты по улучшению функции равновесия у пожилых пациентов на фоне когнитивно-моторных тренировок были получены другими исследователями [17–19]. Как показывают данные отдельных исследований, для получения более выраженного эффекта длительность тренировок для пожилых пациентов должна составлять не менее 3 часов в неделю, что было соблюдено в рамках нашего исследования [18]. Однако стоит отметить, что для поддержания эффекта тренировки должны продолжаться на амбулаторном этапе реабилита-

ции, но для подтверждения этого требуется проведение крупного продолжительного исследования, что не было целью настоящей работы.

Данные психофизиологического исследования позволили оценить основные изменения у пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом и сформировать их общий психофизиологический профиль. Самым главным нарушением является увеличение СВР, что отмечалось при тестировании простой и сложной зрительно-моторных реакций и что в целом наблюдается у пожилых людей и отражает процессы общего старения организма [20, 21]. Таким образом, на основании проведенного нами комплексного обследования можно сделать вывод, что в группе пожилых пациентов с ХИГМ и вестибуло-атактическим синдромом наблюдаются преобладание процессов торможения и установка на качество выполнения задач в ущерб быстрдействию. Учитывая наличие положительных корреляций отдельных показателей психофизиологического тестирования с клинической оценкой по шкале баланса Берг, можно также сделать вывод, что данные изменения достаточно сильно влияют на функцию равновесия у этих пациентов. Подобные корреляции наблюдались и в других исследованиях, посвященных данной тематике [7, 22].

На фоне курса реабилитационных мероприятий у пациентов, помимо улучшения функции равновесия, также отмечалось улучшение по отдельным показателям ПЗМР, таким как уровень безошибочности и уровень стабильности реакций, что может говорить о положительном влиянии когнитивно-моторных тренировок в виртуальной реальности на функцию внимания у пожилых пациентов с ХИГМ. Отсутствие изменений по данным СЗМР, вероятнее всего, связано с небольшой выборкой пациентов, и в дальнейшем с увеличением мощности исследования данный показатель может внести весомый вклад в общую картину изменений, наблюдаемых у пациентов пожилого возраста с нарушением функции равновесия.

Ограничения исследования

Основным ограничением проведенного исследования является небольшая выборка пациентов, однако в данной статье представлены предварительные результаты, и набор пациентов продолжается. Для объективизации данных изменения функции равновесия на фоне когнитивно-моторных тренировок в последующем будет применяться стабилометрическая платформа, также будет расширен объем психофизиологических тестов.

Заключение

Проведенные ранее исследования показали общее снижение скорости простой и сложной зрительно-моторных реакций у пожилых людей, что сопровождает процессы общего старения организма. В отдельных исследованиях показана связь вариабельности времени реакции с риском падения у пожилых людей. Тем не менее остается неизученным влияние когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на функцию равновесия и показатели зрительно-моторной реакции у пожилых людей. В результате проведенного исследования были получены данные, подтверждающие влияние курса когнитивно-моторных тренировок в виртуальной среде на уменьшение количества ошибок за время выполнения теста, а также улучшение стабильности ПЗМР, что позволило сделать вывод о положительном влиянии тренировок в виртуальной реальности на улучшение внимания пациентов во время выполнения теста. Также было выявлено улучшение функции поддержания равновесия, оцениваемой по шкале баланса Берг ($p=0,01$), у пациентов с хронической ишемией головного мозга. Кроме того, обнаружена отрицательная корреляция медианы времени реакции с функцией равновесия по шкале баланса Берг ($r=-0,715$) после курса тренировок, что может свидетельствовать о зависимости эффективности двигательной тренировки равновесия в виртуальной среде от степени изменения нейродинамических

процессов. Полученные в результате исследования данные могут внести вклад в изучение возрастных изменений нейродинамических процессов, а также послужить предпосылками к разработке персонализированных методик двигательных тренировок, основанных на объективных психофизиологических параметрах.

Источник финансирования

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-118.2020.7.

Конфликт интересов

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

Участие авторов

А. Е. Хижникова — планирование и проведение исследования, отбор пациентов, написание черновика рукописи; **А. С. Ключков** — планирование и проведение исследования, написание черновика рукописи; **А. М. Котов-Смоленский** — проведение исследования, клиническая и инструментальная оценка пациентов, написание черновика рукописи; **А. А. Фукс** — статистическая обработка данных исследования, написание черновика рукописи; **Н. А. Супонева, М. А. Пирадов** — написание рукописи.

Список литературы / References

1. World Health Organization. *WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age*. WHO; 2007. Available from: https://www.who.int/ageing/publications/Falls_prevention7March.pdf.
2. Ou LC, Chang YF, Chang CS, et al. Epidemiological survey of the feasibility of broadband ultrasound attenuation measured using calcaneal quantitative ultrasound to predict the incidence of falls in the middle aged and elderly. *BMJ Open*. 2017;7(1):e013420. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013420.
3. Salthouse TA. When does age-related cognitive decline begin? *Neurobiol Aging*. 2009;30(4):507–514. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023.
4. Salthouse T. Consequences of age-related cognitive declines. *Annu Rev Psychol*. 2012;63(1):201–226. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100328.
5. Fortenbaugh FC, DeGutis J, Germine L, et al. Sustained attention across the life span in a sample of 10,000. *Psychol Science*. 2015;26(9):1497–1510. doi: 10.1177/0956797615594896.
6. Mendelson DN, Redfern MS, Nebes RD, Jennings RJ. Inhibitory processes relate differently to balance/ reaction time dual tasks in young and older adults. *Aging, Neuropsychol Cogn*. 2009;17(1):1–18. doi: 10.1080/13825580902914040.
7. Schoene D, Delbaere K, Lord SR. Impaired response selection during stepping predicts falls in older people — a cohort study. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18(8):719–725. doi: 10.1016/j.jamda.2017.03.010.
8. Кадыков А.С., Манвелов Л.С., Шахпаронова Н.В. *Хронические сосудистые заболевания головного мозга (дисциркуляторная энцефалопатия)*. — М.: ГЭОТАР-Мед, 2006. [Kadykov AS, Manvelov LS, Shakhparonova NV. *Khronicheskie sosudistye zabolevaniya golovnogogo mozga (distsirkulyatornaya ehntsefalopatiya)*. Moscow: GEOTAR-Med; 2006. (In Russ).]
9. Kim BR, Chun MH, Kim LS, Park JY. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients. *Ann Rehabil Med*. 2011;35(4):450. doi: 10.5535/arm.2011.35.4.450.
10. Bisson E, Contant B, Sveistrup H, Lajoie Y. Functional balance and dual-task reaction times in older adults are improved by virtual reality and biofeedback training. *Cyber Psychol Behav*. 2007;10(1):16–23. doi: 10.1089/cpb.2006.9997.

11. Kizony R, Levin MF, Hughey L, et al. Cognitive load and dual-task performance during locomotion poststroke: a feasibility study using a functional virtual environment. *Phys Ther.* 2010;90(2):252–260. doi: 10.2522/ptj.20090061.
12. Kannan L, Vora J, Bhatt T, Hughes SL. Cognitive-motor exergaming for reducing fall risk in people with chronic stroke: A randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2019;44(4):493–510. doi: 10.3233/NRE-182683.
13. Li KZ, Roudaia E, Lussier M, et al. Benefits of cognitive dual-task training on balance performance in healthy older adults. *J Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci.* 2010;65A(12):1344–1352. doi: 10.1093/gerona/g1q151.
14. De Bruin E, Eggenberger P, Angst M, et al. Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clin Interv Aging.* 2015;10:1335–1349. doi: 10.2147/CIA.S87732.
15. Subramaniam S, Wan-Ying Hui-Chan C, Bhatt T. A cognitive-balance control training paradigm using wii fit to reduce fall risk in chronic stroke survivors. *J Neurol Phys Ther.* 2014;38(4):216–225. doi: 10.1097/NPT.0000000000000056.
16. Косачев В.Е., Талалаев А.А. Экспресс-метод оценки функционального состояния центральной нервной системы в процессе психофизиологического мониторинга персонала энергопредприятий // *Известия Таганрогского государственного радиотехнического университета.* — 2000. — № 4. — С. 24–26. [Kosachev VE, Talalaev AA. Ehkspress-metod otsenki funktsional'nogo sostoyaniya tsentral'noi nervnoi sistemy v protsesse psikhofiziologicheskogo monitoringa personala ehnergopredpriyatii. *Izvestiya Taganrogskego gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta.* 2000; (4):24–26. (In Russ).]
17. Phu S, Vogrin S, Al Saedi A, Duque G. Balance training using virtual reality improves balance and physical performance in older adults at high risk of falls. *Clin Interv Aging.* 2019;14:1567–1577. doi: 10.2147/CIA.S220890.
18. Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, et al. Exercise to prevent falls in older adults: An updated systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017;51(24):1750–1758. doi: 10.1136/bjsports-2016-096547.
19. Yeşilyaprak SS, Yıldırım MŞ, Tomruk M, et al. Comparison of the effects of virtual reality-based balance exercises and conventional exercises on balance and fall risk in older adults living in nursing homes in Turkey. *Physiother Theory Pract.* 2016;32(3):191–201. doi: 10.3109/09593985.2015.1138009.
20. Der G, Deary IJ. Age and sex differences in reaction time in adulthood: Results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey. *Psychol Aging.* 2006;21(1):62–73. doi: 10.1037/0882-7974.21.1.62.
21. Eckner JT, Richardson JK, Kim H, et al. A novel clinical test of recognition reaction time in healthy adults. *Psychol Assess.* 2012;24(1):249–254. doi: 10.1037/a0025042.
22. Wang D, Zhang J, Sun Y, et al. Evaluating the fall risk among elderly population by choice step reaction test. *Clin Interv Aging.* 2016;11:1075–1082. doi: 10.2147/CIA.S106606.

Информация об авторах

Хижникова Анастасия Евгеньевна, к.м.н. [Anastasiya E. Khizhnikova, MD, PhD]; 125367, Москва, Волоколамское шоссе, д. 80 [address: 80 Volokolamsk sh., 125367 Moscow, Russia]; e-mail: nastushkapal@gmail.com, SPIN-код: 4824-1240

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1395-6645>

Клочков Антон Сергеевич, к.м.н. [Anton S. Klochkov, MD, PhD]; e-mail: klochkov@neurology.ru, SPIN-код: 3445-8770

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

Котов-Смоленский Артём Михайлович [Artem M. Kotov-Smolenskiy]; e-mail: a.kotov.smolenskiy@gmail.com, SPIN-код: 9603-9135

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

Фукус Анна Антоновна [Anna A. Fuks]; e-mail: myfannamail@gmail.com, SPIN-код: 8236-1787

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4335-6344>

Супонева Наталья Александровна [Natalia A. Suponeva]; e-mail: nasu2709@mail.ru, SPIN-код: 3223-6006

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3956-6362>,

Пирадов Михаил Александрович [Michael A. Piradov]; e-mail: dir@neurology.ru, SPIN-код: 2860-1689

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6338-0392>