

DOI: <https://doi.org/10.17816/medjrf112059>

# Виртуальная реальность как технология мультимодальной коррекции постинсультных двигательных и когнитивных нарушений в условиях многозадачности функционирования (обзор литературы)

Е.В. Костенко<sup>1,2</sup>, Л.В. Петрова<sup>1</sup>, И.В. Погонченкова<sup>1</sup>, В.Д. Копашева<sup>1</sup><sup>1</sup> Московский научно-практический центр медицинской реабилитации, восстановительной и спортивной медицины, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Представлен обзор инновационных технологий, основанных на методах сенсомоторного переобучения пациента с использованием технологии виртуальной реальности как перспективного направления в комплексной реабилитации пациентов, перенёсших церебральный инсульт. Проанализированы работы высокого уровня доказательности (рандомизированные контролируемые исследования, метаанализы, систематические обзоры), найденные в базах данных PubMed, Cochrane Library, ClinicalTrials.gov. Подчёркивается, что тренировки с мультисенсорным воздействием на зрительный, слуховой, вестибулярный и кинестетический анализаторы в условиях многозадачности оказывают благоприятное воздействие на когнитивно-двигательное обучение и переобучение, нейропсихологический статус пациента и повышают уровень мотивации на достижение успеха в реабилитационном процессе. Синергичность мультимодальных эффектов виртуальной реальности позволяет расширить возможности и повысить эффективность медицинской реабилитации пациентов, перенесших церебральный инсульт.

**Ключевые слова:** инсульт; медицинская реабилитация; виртуальная реальность; биологическая обратная связь; двигательные нарушения; когнитивные нарушения.

## Как цитировать:

Костенко Е.В., Петрова Л.В., Погонченкова И.В., Копашева В.Д. Виртуальная реальность как технология мультимодальной коррекции постинсультных двигательных и когнитивных нарушений в условиях многозадачности функционирования (обзор литературы) // Российский медицинский журнал. 2022. Т. 28, № 5. С. 381–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/medjrf112059>

DOI: <https://doi.org/10.17816/medjrf112059>

# Virtual reality as a technology of multimodal correction of post-stroke motor and cognitive disturbances in conditions of multitasking functioning: a literature review

Elena V. Kostenko<sup>1,2</sup>, Liudmila V. Petrova<sup>1</sup>, Irena V. Pogonchenkova<sup>1</sup>, Vera D. Kopasheva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow Centre for Research and Practice in Medical Rehabilitation, Restorative and Sports Medicine, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University), Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

The article presents an overview of innovative technologies based on the methods of sensorimotor retraining of patients using virtual reality technology as a promising in the comprehensive rehabilitation of patients who have suffered a cerebral stroke. High level of evidence studies (RCTs, meta-analyses, and systematic reviews) index in the PubMed, Cochrane Library, ClinicalTrials.gov databases are analyzed. Training with multisensory effects on visual, auditory, vestibular, and kinesthetic analyzers in multitasking conditions have beneficial effects on cognitive and motor training, retraining, neuropsychological status of the patient and an increase in the level of motivation to achieve success in the rehabilitation. The synergistic nature of the multimodal effects of virtual reality makes it possible to expand the possibilities and increase the effectiveness of medical rehabilitation in patients who have undergone cerebral stroke.

**Keywords:** stroke; medical rehabilitation; virtual reality; biofeedback; motor disfunction; cognitive disturbances.

## To cite this article:

Kostenko EV, Petrova LV, Pogonchenkova IV, Kopasheva VD. Virtual reality as a technology of multimodal correction of post-stroke motor and cognitive disturbances in conditions of multitasking functioning (literature review). *Rossiiskii meditsinskii zhurnal (Medical Journal of the Russian Federation, Russian Journal)*. 2022;28(5):381–394. DOI: <https://doi.org/10.17816/medjrf112059>

Received: 03.08.2022

Accepted: 17.09.2022

Published: 31.10.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Церебральный инсульт (ЦИ) — важная медико-социальная проблема, что обусловлено его высокой долей в структуре заболеваемости и смертности населения, значительными показателями временных трудовых потерь и первичной инвалидности [1].

После перенесённого ЦИ вследствие долгосрочных физических и психологических нарушений значительно снижается качество жизни [2]. В 33–42% случаев пациенты с ЦИ имеют ограничения повседневного функционирования через три-шесть месяцев после инсульта, из них 36% продолжают оставаться инвалидами пять лет спустя [3].

Наряду с двигательными нарушениями более чем у 40% выживших после ЦИ развиваются когнитивные нарушения (КН). Почти две трети пациентов страдают умеренными КН и, следовательно, подвержены риску развития деменции [4].

Сенсорные нарушения, нарушения речи, походки, зрения, усталость, депрессия, потеря равновесия и координации — спектр симптомов, вызванных ЦИ и приводящих не только к ограничению физической и умственной активности самих больных, но и к снижению качества жизни их близкого окружения [5].

Большая часть исследований, касающихся реабилитации пациентов после ЦИ, фокусируется на моторном дефиците как наиболее распространённом и инвалидизирующем нарушении [6]. В настоящее время применяют методы реабилитации постинсультных пациентов с доказанным эффектом: физиотерапия [7–10], использование фармацевтических препаратов [11–13], нейромодуляция (электрическая стимуляция глотки, электрическая эпидуральная стимуляция и повторяющаяся транскраниальная магнитная стимуляция) [14–16], тренинги в виртуальной среде и с помощью видеоигр [17–22].

Виртуальная реальность (ВР) описывается как «продвинутое человеко-компьютерное взаимодействие, позволяющее пользователю “взаимодействовать” с созданной компьютером средой и “погружаться” в неё натуралистичным образом» [23]. Технология ВР является новым многообещающим методом реабилитации пациентов после ЦИ, который может дополнять и улучшать существующие протоколы реабилитации [24]. Эта технология позволяет взаимодействовать с моделируемой средой и получать непрерывную биологическую обратную связь (БОС) при определённой целенаправленной деятельности. ВР создаёт обогащённую среду, в которой пациенты с ЦИ могут решать повседневные проблемы и осваивать новые навыки. Метод обладает потенциалом основных концепций нейрореабилитации пациентов, перенёсших ЦИ, таких как интенсивное, повторяющееся и ориентированное на задачи обучение, что имеет решающее значение для повышения нейропластичности и, как следствие, восстановления двигательной активности согласно

теории моторного обучения [25]. В настоящее время ВР рассматривается как перспективный метод для формирования новых двигательных стереотипов с интеграцией виртуальных конечностей в схему тела пациентов, а также когнитивной и мультисенсорной стимуляции психических процессов. Определение виртуальной реабилитации объединяет в себя все методы лечебного воздействия (физические, когнитивные, психологический и эрготерапию), которые базируются на ВР или включают элементы ВР, дополненную реальность или компьютерные технологии в свою структуру [26, 27].

С точки зрения интенсивности выполнения задач и мотивации реабилитация на основе ВР имеет ряд преимуществ:

1. ВР может увеличить повторяемость задач за счёт улучшения удовлетворённости пациентов и геймификации задач («процесс добавления функций игрового дизайна и игровых концепций к чему-либо, чтобы стимулировать участие») [28–30].

2. ВР за счёт гибкости метода позволяет применять поэтапный подход и индивидуальность настройки режима реабилитации в соответствии с двигательным дефицитом пациента.

3. Экономичность ВР-технологий позволяет использовать их в качестве дополнения к традиционным методам медицинской реабилитации (МР) у пациентов с уменьшенной потребностью в непосредственном наблюдении, в том числе к дистанционным форматам МР на дому для самостоятельных занятий [31].

Изучение эффективности ВР-технологий охватывает основные направления МР после ЦИ, в которых различные технологические модальности рассматриваются в качестве дополнения к традиционным методам. Однако большая часть исследований посвящена анализу влияния ВР на одно функциональное нарушение.

**Целью** представленного обзора литературы явилось изучение влияния различных типов ВР-технологий на постинсультные моторные, сенсорные и когнитивные нарушения.

## МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ

Поиск публикаций проводился в базах данных PubMed, Cochrane Library, ClinicalTrials.gov. Были выбраны данные высокого уровня доказательности (рандомизированные контролируемые исследования (РКИ), национальные и международные клинические рекомендации, метаанализы, систематические обзоры). Мы включили исследования с использованием ВР-вмешательств, которые соответствовали следующему определению: «Вмешательство ВР должно заключаться в использовании интерактивных симуляций, созданных с помощью компьютерного оборудования и программного обеспечения, чтобы представить пользователям виртуальную фигуру для участия в средах, которые выглядят и ощущаются похожими на объекты

и события реального мира». Мы не ограничивали тип ВР в зависимости от уровня погружения (низкое погружение, полупогружение или полное погружение). Вмешательства должны были осуществляться с использованием стандартизированных компьютерных заданий или интерактивных видеоигр. Проанализированные работы включают пациентов в различные периоды ЦИ.

## ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ С ДВОЙНОЙ ЗАДАЧЕЙ

Повседневная деятельность в жизни человека требует сочетания двигательных задач с когнитивными функциями при сохранении контроля позы, вставании или ходьбе [31]. Проприоцепция и способность к многозадачности необходимы для обеспечения автономии в повседневной жизни. После инсульта эти навыки утрачиваются, и способности к выполнению двух задач можно восстановить с помощью специальной реабилитационной программы [32, 33]. Хотя и обычные методы тренировки облегчают контроль равновесия, тренировки с двумя задачами (с двигательными и когнитивными упражнениями) в сочетании с проприоцептивной тренировкой могут привести к большей эффективности восстановления двигательного стереотипа и снизить риск падений.

В имеющейся литературе содержатся немногочисленные сведения об упражнениях с двойной задачей в контексте стратегий проприоцептивной реабилитации у пациентов, перенёсших ЦИ. В качестве эффективной реабилитации для достижения этой цели предлагается целенаправленная проприоцептивная тренировка с включением ВР, что подтверждается рядом систематических обзоров.

Р. Fishbein и соавт. [34] исследовали возможность использования двойной задачи для верхней конечности (ВК) на основе ВР во время ходьбы по беговой дорожке для улучшения походки и функционального баланса. В РКИ включили 22 человека в резидуальном периоде ЦИ. Участников разделили на 2 группы (каждая группа выполняла 8-сессионную программу упражнений): 11 участвовали в двухзадачной ходьбе (DTW), а остальные 11 — в однозадачной ходьбе по беговой дорожке (TMW). Измерения проводились до, после тестирования и последующих действий. Показатели результатов включали тест на 10-метровую ходьбу (10mW), тест «Встань и иди» (TUG), тест функционального охвата (FRT), тест бокового охвата влево/вправо (LRT-L/R); шкалу уверенности в балансе для конкретных видов деятельности (ABC) и шкалу баланса Берга (BBS). Улучшения наблюдались в переменных баланса (BBS, FRT, LRT-L/R,  $p < 0,01$ ), благоприятствующих группе DTW, и в переменных походки: время прохождения 10 м — также в пользу группы DTW ( $p < 0,05$ ) и шкалы ABC ( $p < 0,01$ ). Изменений по тесту TUG не наблюдалось. Лучшее восстановление отмечали у участников, выполнявших два задания. Таким образом,

авторы предлагают не только внедрять ВР в клиническую практику, но и комбинировать упражнения для выполнения нескольких задач одновременно.

Особый интерес представляют виртуальные программы с двойной задачей, приближенные к реальным бытовым условиям пациента и способствующие адаптации к окружающей среде. В исследованиях Р. Weiss и соавт. (2004), D. Rand и соавт. (2007), которые рассмотрены в обзоре [35], пациент после инсульта с гемипарезом в виртуальном магазине на базе VIVID IREX-платформы перемещался между рядами с продуктами, выбирал определённые товары, рассматривал их, принимал решение и формировал корзину. У испытуемых улучшались двигательная функция и постуральная устойчивость.

В работах S. Subramaniam и соавт. [36], L. Kannan и соавт. [37] показано использование реабилитационной программы, основанной на ВР-технологии с двумя задачами. Обучение с помощью упражнений ВР представляло собой дополнительные когнитивные задачи: семантическая память или деятельность с разделённым вниманием. Показано, что ВР повышает уровень мотивации и улучшает физические функции, волевой контроль стабильности, семантическую и рабочую память [36].

В целом восстановление проприоцепции в сочетании с одновременным двухзадачным обучением в условиях ВР определённо улучшает баланс и контроль позы, ходьбу и скорость походки, предотвращает падения и позитивно влияет на когнитивные функции.

## ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

В 2016 году коллегами из Бельгии был проведён систематический обзор, посвящённый методам стимулирования восстановления функции ВК после ЦИ [38]. Цель обзора заключалась в оценке эффективности каждого из имеющихся методов нейрореабилитации для восстановления двигательной функции ВК. В обзор включено 26 различных методов реабилитационного лечения и 270 публикаций. Среди методов реабилитации рассмотрены различные подходы к физическим упражнениям; моторное обучение; вмешательства, основанные на гипотезе зеркальных нейронов и моторных изображений; адъювантная терапия. Одним из методов МР являлась ВР в виде погружения в виртуальную игровую среду. Проанализировано 10 РКИ ( $n=697$ ) и 4 систематических обзора ( $n=760$ ). Показано, что ВР эффективна в сочетании с другими методами реабилитационного лечения и может быть интегрирована в качестве адъювантной терапии в стратегии МР после ЦИ с целью улучшения двигательных функций ВК.

В 2017 году К.Е. Laver с соавт. [39] опубликовали статью на основе анализа реестров инсульта (Cochrane,

Central, MEDLINE, Embase и др.), в которую были включены рандомизированные и квазирандомизированные клинические исследования ВР у взрослых после ЦИ. Основным интересующим исходом были функция и активность ВК. Вторичные результаты включали походку и равновесие, а также глобальную двигательную функцию. Всего проанализировано 72 исследования, в которых приняли участие 2470 человек, перенёсших ЦИ. Сделаны выводы, что применение ВР и интерактивных видеоигр сопоставимо с традиционными терапевтическими подходами для улучшения функции ВК. Кроме того, ВР может быть эффективна для улучшения функции ВК и повседневной жизнедеятельности при использовании в качестве дополнения к МР (для увеличения общего времени терапии).

В Австралии в 2018 году изучены РКИ, сравнивающие ВР с традиционной терапией. Было выявлено 33 исследования, включающих 971 участника (492 участника ВР). ВР представляла собой видеозахват или настольные системы. В первом случае пациент сидел перед настенным дисплеем, удерживая датчик, например, в системе усиленной БОС в ВР и игровой системе VE Rehab Master. Терапия ВР представлена системами Wii (Nintendo, XaviX), EyeToy (PlayStation), IREX, Xbox Kinect или их комбинацией. Настольные системы включали технологии мультитач-дисплеев, требующих отклика на касание пальцем или манипуляции с пользовательскими интерфейсами. ВР обеспечивала общий эффект, превышающий эффект от традиционных методов лечения. При этом значимые изменения показателей структуры/функций тела и уровня активности, улучшение когнитивных функций у людей с ЦИ наблюдались при использовании только специально разработанных систем ВР [40].

В 2019 году бразильские учёные опубликовали статью об использовании коммерческих видеоигр в качестве ВР в реабилитации пациентов с ЦИ. Было отобрано 13 статей, наиболее используемой игровой системой являлась Wii (Nintendo, Япония). Реабилитацию проводили два или три раза в неделю в течение 2–12 нед, занятие длилось 30–60 мин. Оценивали баланс, двигательные функции ВК, качество жизни и повседневную активность. Исследования показали улучшение динамического баланса, двигательной функции ВК и качества жизни после реабилитации с использованием ВР [41].

Влияние реабилитации на основе ВР в сочетании со стандартной эрготерапией на функцию дистальных отделов ВК и качество жизни, связанное со здоровьем (health-related quality of life, HRQoL), изучалось в слепом РКИ [42] с 46 участниками, перенёсшими ЦИ, которые были рандомизированы в группу smart glove (SG) и группу контроля (CON). Все участники получали индивидуально 4-недельную программу реабилитации (SG или CON): 20 сеансов по 30 мин в день, а также стандартную эрготерапию ежедневно по 30 мин. Программы реабилитации были сосредоточены на дистальном отделе ВК. Первичным результатом стало изменение баллов по шкале

Фугл-Мейера, а вторичным — изменения в тесте функции руки Джебсена–Тейлора (JTT), тесте Пердью с перфорированной доской и по Шкале влияния инсульта (SIS) версии 3.0. Оценивали исходы до вмешательства, в середине вмешательства, сразу после вмешательства и через месяц после вмешательства. В данном исследовании отмечены более выраженные улучшения исходов МР дистальных отделов ВК, включая двигательные нарушения, функции рук и HRQoL, при использовании МР на основе ВР со стандартной терапией, чем при стандартной реабилитации.

Умная перчатка RAPAE (Neofect, Республика Корея) — это программное приложение на основе перчаток, которое посредством игры на основе ВР с БОС позволяет улучшать двигательную функцию кисти.

Возможность улучшения скорости восстановления двигательных функций ВК с помощью умной перчатки RAPAE в качестве вспомогательного инструмента изучалась в РКИ [43] с участием 13 стационарных пациентов, перенёсших ЦИ. Основная группа проходила реабилитацию в виде 30-минутной игровой терапии и одной 30-минутной традиционной терапии в день. Контрольное лечение состояло из двух 30-минутных стандартных методов терапии. Каждый блок терапии включал 15 дней занятий в течение 3 нед. Конечными точками являлись баллы по тесту двигательной функции Вольфа (Wolf motor function test — WMFT) и активный диапазон движений предплечья и запястья. Средний балл WMFT в основной группе был значительно выше, чем в группе контроля.

Схожие результаты получены в другом исследовании [44], включавшем 24 пациента с нарушением тонкой функции кисти после ЦИ. Было показано, что использование ВР эффективнее в отношении восстановления функции ВК по сравнению со стандартной терапией из-за эффектов игры, которые стимулируют мотивированность и вовлечённость пациента в процесс МР.

В работе китайских авторов [45] изучалось влияние виртуальной программы при использовании перчатки RAPAE на функцию ВК. Рандомизировано 36 пациентов с ЦИ в группу с ВР-тренингом и контрольную группу без погружения в ВР-тренинг. Исследование показало, что виртуальная тренировка ВК с использованием перчатки RAPAE эффективнее влияет на восстановление когнитивно-двигательной функции у пациентов с ЦИ.

В 2020 году проведено проспективное многоцентровое РКИ [46] с включением 23 пациентов с гемипарезом ВК II–V стадии восстановления по Бруннстрему в подострой фазе ЦИ. Участники методом случайных чисел были распределены в основную (SGT, smart glove training) и контрольную группы. Группа SGT прошла 30-минутную эрготерапию плюс 30-минутную тренировку ВК с умной перчаткой. В контрольной группе выполняли эрготерапию в течение 30 мин плюс домашняя самотренировка ВК в течение 30 мин. Занятия проводили 5 дней в неделю в течение 2 нед. Первичной конечной точкой было изменение оценки ВК по шкале Фугл-Мейера. На основании



проведённого исследования был сделан вывод, что SGT может быть безопасным и эффективным вмешательством для реабилитации ВК, особенно для улучшения дистальных двигательных нарушений у пациентов с подострым инсультом.

Аналогичные результаты с улучшением показателей оценочных шкал Фугл-Мейера, теста силы руки и теста функции руки Джебсена-Тейлора были получены в южнокорейском исследовании 2021 года [47] при изучении программы реабилитации с использованием носимого устройства (RAPAEL Smart Glove). Исследовали его влияние на функцию ВК у пациентов с ЦИ в острой фазе. Участвовали 44 пациента, которые случайным образом были разделены на две группы. В основной группе ( $n=22$ ) проводили игровую программу реабилитации ВР по 30 мин, 5 сеансов в неделю, в течение 4 нед в дополнение к стандартной лечебной физкультуре. В контрольной группе ( $n=22$ ) проводили только стандартную лечебную физкультуру. По сравнению с группой контроля участники основной группы показали значительное улучшение функции руки, выполнения повседневных действий и приверженности к реабилитации.

В 2021 году коллегами из Саудовской Аравии [48] была опубликована статья о влиянии терапии с ВР на улучшение функций ВК у людей, перенёсших ЦИ. Дизайн исследования представлял собой двухгрупповое РКИ с включением 40 участников. Рандомизацию участников обеих групп (экспериментальная и контрольная) проводили методом компьютеризированной генерации случайных чисел. Курс реабилитации состоял из ВР по 3 сеанса в неделю (2 ч с 15-минутным отдыхом между первым и вторым часами) в течение 3 мес для обеих групп. В качестве инструмента ВР использовали Armeo Spring (Hocoma, Швейцария) — функциональное устройство для реабилитации ВК. Устройство включает в себя регулируемую опору для руки с расширенной БОС и большое трёхмерное рабочее пространство, позволяющее выполнять упражнения функциональной терапии в среде ВР. Проводили моделирование ряда задач для ВК, связанных с дотягиванием руки до цели, дотягиванием и захватом (действия «руки-руки»), а также манипулятивными задачами с использованием различных игр.

Участники *основной* группы прошли программу МР, состоящую из трёх частей. Первая часть состояла из упражнений на стимуляцию мышц, на проприоцептивную нервно-мышечную стимуляцию, на растяжку, из силовых упражнений и упражнений на постуральные реакции. Вторая часть включала в себя хватательные и манипулятивные задачи, задачи «рука-кисть». Первую и вторую части проводили за 1 ч, затем 15 мин отдыхали. В течение следующего часа выполняли третью часть — основанную на ВР учебную программу с использованием Armeo Spring. *Контрольная* группа прошла стандартную программу функциональной тренировки в течение 2 ч, состоящую из двух частей продолжительностью по 1 ч с 15-минутным отдыхом между ними. Результаты показали, что терапия на основе

ВР в сочетании со стандартной программой физиотерапии значительно улучшила функции ВК у пациентов с хроническим инсультом по сравнению с использованием только стандартной программы физиотерапии [48].

В 2022 году китайскими коллегами [49] проанализировано 42 публикации РКИ, представляющие 43 исследования, в которых изучалась эффективность использования лечебной физкультуры с поддержкой ВР для двигательной реабилитации ВК у пациентов с ЦИ. Сравнивали специализированную программу, предназначенную для реабилитации (3D), и коммерческую игру (2D). Всего было изучено 12 исследований, значительные улучшения были обнаружены в двух из них; как значительные, так и незначительные улучшения наблюдались ещё в двух исследованиях в зависимости от используемых инструментов или методов измерения. Выводы с доказательствами высокого уровня свидетельствуют о том, что по сравнению с традиционной терапией лечебная физкультура с поддержкой ВР может эффективно улучшить двигательную функцию ВК (тест Фугл-Мейера) и независимость в повседневной жизни (Шкала функциональной независимости Functional Independence Measure, FIM), но это не влияет на тонкую функцию кисти (тест оценки функции руки, action research arm test, ARAT).

Важной особенностью использования устройства ВР (smart glove) для реабилитации ВК после ЦИ является возможность самостоятельного домашнего применения пациентом, что подтверждается исследованием американских коллег 2022 года [50] с участием 20 пациентов с хроническим инсультом и поражением ВК. Занятия состояли из 2-недельной вводной фазы без использования устройства, за которой следовал 8-недельный период реабилитации. Участникам было предложено использовать smart glove 50 мин в день, 5 дней в неделю в течение 8 нед. Из 20 участников 7 человек (35%) достигли целевого уровня использования устройства в течение 40 дней, а 6 (30%) использовали устройство в течение 20–39 дней. 85% участников были удовлетворены терапией, при этом 80% сообщили об улучшении функции рук. Таким образом, самостоятельное использование smart glove в домашних условиях может улучшить функцию кисти/верхней конечности у пациентов с подострым/хроническим ЦИ.

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПРОГРАММЫ КОГНИТИВНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Итальянскими учёными в 2021 году проведено исследование [51], цель которого заключалась в предоставлении доказательств долгосрочного эффекта от программы Human Empowerment Aging and Disability Program (HEAD)

как инновационного метода когнитивно-двигательной реабилитации в ВР. Подход HEAD основан на использовании недорогих устройств и мультимедийного контента, включая короткие мотивирующие видеоролики программ Radiotelevisione Italiana (RAI) в контексте игровой нейро-реабилитации в ВР. В исследовании приняли участие 34 пациента с ЦИ. Протокол HEAD VR применяли в две последовательные фазы: фаза I — в клинике (ClinicHEAD), состоящая из 12 сеансов реабилитации HEAD в течение 4 нед (45 мин) и включающая двигательные, когнитивные и двойные задачи для всех участников; фаза II — дома (HomeHEAD), состоящая из 60 сеансов той же виртуальной активности 5 раз в неделю в течение 3 мес. Все участники ClinicHEAD были распределены (соотношение 1:2) для продолжения дистанционной домашней реабилитации (НН,  $n=11$ ) или обычного лечения (УС,  $n=23$ ). Слепую оценку проводили на исходном уровне, после ClinicHEAD, через 3 мес HomeHEAD и через 3 мес последующего наблюдения.

Протокол HEAD VR был эффективен в клинике для улучшения двигательных и когнитивных способностей, а в домашних условиях — для длительного поддержания функциональной независимости, что указывает на целесообразность его использования при непрерывной реабилитации [51].

## СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ОБЗОРЫ И МЕТААНАЛИЗЫ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДВИГАТЕЛЬНЫХ И КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В 2020 году французские и испанские авторы представили систематический обзор и метаанализ 15 РКИ на тему игровых вмешательств в ВР для улучшения двигательной функции ВК и качества жизни после инсульта [52]. Изучались следующие технологии: инновационный экзоскелет; система телереабилитации с ВР; иммерсионные системы ВР IREX; Xbox Kinect; клавиатура с ВР; ВР в сочетании с умными перчатками, Nintendo Wii и виртуальными поверхностями. Все эти технологии имели общие характеристики: взаимодействие пользователя с виртуальной средой посредством игр, в которых субъект действует аналогично реальности в зависимости от уровня погружения. На основании исследования сделан вывод об эффективности ВР для улучшения двигательной функции ВК и качества жизни после ЦИ.

В 2021 году опубликован систематический обзор и метаанализ РКИ о положительном влиянии ВР на двигательную функцию верхних и нижних конечностей, равновесие, походку, когнитивные функции и повседневную деятельность у пациентов, перенёсших ЦИ [53]. Работа охватывала

87 исследований с включением 3540 участников. Пациенты с инсультом, получающие ВР-вмешательства, продемонстрировали значительные улучшения в оценке ВК по шкале Фугл-Мейера, тесту ARAT, тесту WMFT; в оценке нижней конечности по шкалам FMA-LL, функциональной классификации ходьбы, BBS, времени TAG, скорости прохождения 6 м и 10 м, модифицированного индекса Бартел и показателя функциональной независимости. Подчёркнута эффективность ВР в отношении двигательной функции верхних и нижних конечностей, равновесия, походки и повседневного функционирования пациентов с ЦИ, однако положительного влияния на когнитивные функции не зафиксировано.

В 2021 году проведён метаанализ 6 РКИ с участием 209 человек [54], в котором изучали вмешательство на основе ВР в сочетании с традиционной реабилитацией при хроническом ЦИ. Пять исследований с участием 177 человек были включены в анализ. В качестве методов реабилитации использовали тренировку с комплексом LokomatPro с экраном ВР; адаптивную конъюнктивную когнитивную тренировку (ACCT) с применением инструмента реабилитации на основе ВР, Rehabilitation Gaming System (RGS); адаптивную когнитивную тренировку с помощью повседневных задач «Виртуальное моделирование Reh@City v. 2.0»; игры Wii Fit в сочетании с когнитивными заданиями; Joystim для ВР в сочетании с обучением игре на реальном инструменте; тренировку с виртуальной когнитивно-моторной задачей Reh@Task, которая объединяет адаптированное вытягивание руки и тренировку внимания и памяти. Оценивали двигательные и когнитивные функции, настроение, повседневную деятельность. Показано, что вмешательство на основе ВР в сочетании с традиционной реабилитацией более эффективно в отношении функции внимания/исполнения и депрессивного настроения у людей с хроническим ЦИ. Тем не менее влияние ВР на глобальное познание, двигательную функцию и повседневную активность не достигало уровня статистической значимости.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ТРЕНИРОВКУ БАЛАНСА И ФУНКЦИИ ХОДЬБЫ

Коллеги из Бразилии в 2013 году опубликовали исследование [55], изучающее влияние тренировки равновесия с визуальной БОС на баланс, симметрию тела и функции у людей с гемиплегией после инсульта. После первоначальной оценки 43 участника случайным образом разделили на основную (физиотерапия плюс тренировка равновесия с визуальной БОС и с использованием интерактивной программы Wii Fit от Nintendo) и контрольную группы (только физиотерапия). Тренировка баланса Wii Fit — это технология ВР, которая имитирует

обучение реальной деятельности и позволяет увеличить интенсивность тренировки, обеспечивая трёхмерную БОС посредством визуальной, сенсорной и слуховой стимуляции. Реабилитацию проводили в течение 5 нед по 2 сеанса в неделю. Сеансы физиотерапии длились 60 мин, а тренировка равновесия — 30 мин. Занятия в основной группе включали традиционную физиотерапию и 30-минутную тренировку равновесия с визуальной БОС с использованием программы Wii Fit. Программа Wii Fit дала положительные результаты при реабилитации как дополнительный интерактивный развлекательный ресурс, повышающий мотивацию. Тем не менее в контрольной группе, получавшей традиционную физиотерапию, также получено значительное улучшение аспектов, оцениваемых в настоящем исследовании.

Несмотря на то, что ВР и роботизированные системы являются предпочитаемыми методами МР при инсульте с использованием технологий, исследований этих новых технологий в доступной литературе не найдено. Во время естественной ходьбы необходимо сосредоточиться более чем на одной задаче, и это трудновыполнимо для пациентов, перенёсших ЦИ. Как и в играх ВР, добавление дополнительной задачи к тренировке походки является примером многозадачности ходьбы в повседневной жизни и приводит к отвлечению пациента [56]. Тренировка с ВР пациентов, перенёсших инсульт, повысила качество движений и функциональные возможности [57], в то время как тренировка походки с помощью робота улучшила походку и равновесие [58]. Комбинированная терапия мотивирует пациентов и увеличивает их участие в реабилитации [59].

Систематический обзор литературы, который посвящён использованию ВР для улучшения походки у пациентов, перенёсших инсульт, включал 4 исследования. Продемонстрировано, что, несмотря на разнообразие протоколов, характеристик и количества участников, включённых в каждое исследование, использование ВР способствует изменению параметров походки и может рассматриваться как многообещающий метод улучшения походки пациентов с инсультом [55].

В 2022 году проведён крупный метаанализ с включением 39 исследований и 978 участников (465 — в группе с ВР и 513 — в группе без ВР) [60]. В 21 исследовании сообщалось о восстановлении функции ВК, в 4 исследованиях — о восстановлении функции нижних конечностей и в 14 исследованиях — о восстановлении равновесия/походки. Средний возраст участников составил 55,42 года для группы с ВР и 59,91 года — без ВР. Давность перенесённого ЦИ для участников 14 исследований составляла не более 3 мес, для участников 15 исследований — 6–12 мес; у 10 участников исследований давность инсульта была >12 мес. В 24 исследованиях сообщалось о значимом улучшении функций при использовании системы ВР по сравнению с группами, не использующими ВР.

## ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ И КОГНИТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

В последние годы увеличивается внимание к проблеме постинсультного когнитивного дефицита, и совсем недавно рабочая группа Международного альянса по восстановлению после инсульта и реабилитации 2018 года определила постинсультные КН в качестве приоритета исследований [61]. Результаты недавних обзоров подтверждают, что когнитивная реабилитация оказывает положительное влияние на когнитивные исходы после инсульта, хотя и небольшой величины (Hedges'  $g=0,48$ ) [36, 37, 40, 51, 61, 62].

Моделирование повседневной жизни на основе ВР считается наиболее перспективным обучающим решением. Однако эффективность вмешательства на основе ВР для коррекции КН у пациентов в восстановительный период ЦИ остаётся спорной.

Y. Gao и соавт. [54] проведён метаанализ 5 РКИ (177 участников), в которых изучалось влияние метода ВР в сочетании с традиционной реабилитацией на когнитивные способности, двигательные функции, настроение и нарушение повседневной жизнедеятельности у пациентов в восстановительный период ЦИ. Анализ результатов показал значительный эффект обучения на основе ВР на общую когнитивную функцию, внимание ( $g=0,642$ ; 95% CI: 0,134–1,149;  $p=0,013$ ) и настроение ( $g=1,421$ ; 95% CI: 0,448–2,393;  $p=0,004$ ). Статистически значимых изменений показателей глобальных когнитивных способностей, оценённых по Монреальской когнитивной шкале (*англ.* Montreal Cognitive Assessment, MoCA) и краткой шкале оценки психического статуса (Mini-Mental State Examination, MMSE) ( $g=0,553$ ; 95% CI: 0,273–1,379;  $p=0,189$ ), независимости повседневной жизни и двигательной активности не выявлено.

В исследовании [62] говорится о потенциальном улучшении когнитивной функции при использовании ВР у пациентов с ЦИ за счёт влияния на настроение и мотивацию.

A. Aminov и соавт. [40] проанализировали 4 РКИ, в которых показано, что ВР может привести к значительному улучшению когнитивных функций. B. Zhang и соавт. [53] объединили 7 РКИ с целью оценки эффективности ВР-вмешательств для когнитивных результатов по сравнению с контрольными группами, но существенных различий не обнаружили. В представленных двух метаанализах рассматривалось только глобальное познание с использованием MMSE или MoCA.

E. Wiley и соавт. [60] провели систематический обзор, включавший анализ 5 статей для оценки вмешательства на основе ВР в сочетании с реабилитационными упражнениями по глобальному познанию и конкретным областям познания, и пришли к выводу, что ВР-терапия не лучше традиционных реабилитационных вмешательств



для улучшения когнитивных функций у людей, перенёсших ЦИ. Однако из-за ограниченного количества оригинальных статей, небольших размеров выборок, использования различных типов устройств ВР, неоднородности методологии исследований результаты остаются противоречивыми.

Систематический обзор 2022 года [60], в котором исследовали влияние ВР-терапии, основанной на упражнениях, на постинсультные когнитивные функции, включал 8 исследований с 196 участниками, при этом 5 исследований были включены в метаанализ ( $n=124$ ). Исследования различались по типу (сочетание ВР-терапии и традиционной терапии, сочетание ВР-терапии и компьютерного когнитивного обучения, только ВР-терапия) и продолжительности вмешательств (20–180 мин), размеру выборки (от 12 до 42 человек), продолжительности курса реабилитации (4–8 нед) и по изученным когнитивным результатам. Не продемонстрировано значимого влияния ВР на улучшение общих когнитивных функций, памяти, внимания или речи по сравнению с группой контроля.

В 2022 году проанализировано 7 исследований, включавших 171 участника (81 — в группе ВР и 90 — в группе без ВР). Средний возраст пациентов — 60,96 года для ВР и 60,48 года — для группы без ВР. У участников двух исследований давность инсульта составила 3 мес, у участников 5 исследований — 6–12 мес, а у участников одного исследования — 12 мес и более [53]. Во всех семи исследованиях сообщалось о статистически значимом улучшении когнитивных функций при использовании системы ВР по сравнению с группами, не использующими ВР.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неоднородность, связанная с дизайном исследований, и работа на небольших выборках пациентов не позволяют получить достоверные результаты эффективности использования виртуальной реальности в реабилитации пациентов с церебральным инсультом. Более того, в статьях, которые включали обучение с двумя задачами, применялись разные когнитивные и двигательные задачи, что делает неясной чувствительность различных модальностей. Требуются дальнейшие исследования, направленные на предоставление доказательств эффективности виртуальной реальности в краткосрочной и долгосрочной перспективе у пациентов после церебрального инсульта. Кроме того, уточняются нейрофизиологические, нейроанатомические и клинические детерминанты результатов вмешательства, основанного на технологии виртуальной реальности, которые эффективны для восстановления двигательных функций как верхних, так и нижних конечностей. Наряду с клинической эффективностью эти знания помогут расширить области применения технологии виртуальной реальности в реабилитации пациентов после инсульта.

Концепция восстановления двигательных, когнитивных и нейропсихологических нарушений после церебрального инсульта состоит из систематических тренировок, направленных на улучшение визуального, слухового и кинестетического восприятия, функции памяти. Различные тренинги и регулярное методическое обучение способствуют реорганизации коры головного мозга, что определяет улучшение не только двигательной функции, но и когнитивных способностей, процессов памяти, концентрации внимания. Тренировки с мультисенсорным воздействием на зрительный, слуховой, вестибулярный и кинестетический анализаторы в условиях многозадачности оказывают благоприятное воздействие на когнитивно-двигательное обучение и переобучение, нейропсихологический статус пациента и повышают уровень мотивации на достижение успеха в реабилитационном процессе. Технология виртуальной реальности за счёт синергичности мультимодальных эффектов в сочетании со стратегиями решения двух или трёх задач позволит расширить возможности и повысить эффективность медицинской реабилитации пациентов, перенёсших церебральный инсульт.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFORMATION

**Источник финансирования.** Работа выполнена за счёт средств гранта Правительства г. Москвы № 0912-1/22.

**Funding source.** This work was supported by the Grant from the Government of Moscow № 0912-1/22.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Вклад авторов:** Е.В. Костенко — разработка темы обзора, проверка критически важного содержания, редактирование рукописи; Л.В. Петрова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; В.Д. Копашева — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников; И.В. Погонченкова — утверждение рукописи для публикации. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Author contribution:** E.V. Kostenko, development of the review topic, verification of critical content, and editing of the manuscript; L.V. Petrova and V.D. Kopasheva — wrote the manuscript with input from all authors, I.V. Pogonchenkova, oversaw the project. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пирадов М.А., Танащян М.М., Максимова М.Ю. Инсульт: современные технологии диагностики и лечения. 3-е изд. Москва : МЕДпресс-информ, 2018. 360 с.
2. Abubakar S.A., Isezuo S.A. Health related quality of life of stroke survivors: experience of a stroke unit // *Int J Biomed Sci.* 2012. Vol. 8, N 3. P. 183–187.
3. Brainin M., Norrving B., Sunnerhagen K.S., et al. Poststroke chronic disease management: towards improved identification and interventions for post-stroke spasticity-related complications // *Int J Stroke.* 2011. Vol. 6, N 1. P. 42–46. doi: 10.1111/j.1747-4949.2010.00539.x
4. Mellon L., Brewer L., Hall P., et al. Cognitive impairment six months after ischaemic stroke: a profile from the ASPIRE-S study // *BMC Neurol.* 2015. Vol. 15. P. 31. doi: 10.1186/s12883-015-0288-2
5. Фахретдинов В.В., Брынза Н.С., Курмангулов А.А. Современные подходы к реабилитации пациентов, перенесших инсульт // *Вестник Смоленской государственной медицинской академии.* 2019. Т 18, № 2. С. 182–189.
6. Langhorne P., Coupar F., Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review // *Lancet Neurol.* 2009. Vol. 8, N 8. P. 741–754. doi: 10.1016/S1474-4422(09)70150-4
7. Winstein C.J., Wolf S.L., Dromerick A.W., et al. Effect of a task-oriented rehabilitation program on upper extremity recovery following motor stroke: the ICARE randomized clinical trial // *JAMA.* 2016. Vol. 315, N 6. P. 571–581. doi: 10.1001/jama.2016.0276
8. Kwakkel G., Winters C., Van Wegen E.E., et al. Effects of unilateral upper-limb training in two distinct prognostic groups early after stroke: the EXPLICIT-stroke randomized clinical trial // *Neurorehabil Neural Repair.* 2016. Vol. 30, N 9. P. 804–816. doi: 10.1177/1545968315624784
9. Yelnik A.P., Quintaine V., Andriantsifanetra C., et al. AMOBES (active mobility very early after stroke) a randomized controlled trial // *Stroke.* 2017. Vol. 8, N 2. P. 400–405. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.014803
10. Pomeroy V.M., Hunter S.M., Johansen-Berg H., et al. Functional strength training versus movement performance therapy for upper-limb motor recovery early after stroke: a RCT. Southampton (UK) : NIHR Journals Library, 2018. doi: 10.3310/eme05030
11. Muresanu D.F., Heiss W.D., Hoernberg V., et al. Cerebrolysin and recovery after stroke (CARS): a randomized, placebo-controlled, double-blind, multicenter trial // *Stroke.* 2016. Vol. 47, N 1. P. 151–159. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.009416
12. Cramer S.C., Enney L.A., Russell C.K., et al. Proof-of-concept randomized trial of the monoclonal antibody GSK249320 versus placebo in stroke patients // *Stroke.* 2017. Vol. 48, N 3. P. 692–698. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.014517
13. Ford G.A., Bhakta B.B., Cozens A., et al. Safety and efficacy of co-careldopa as an add-on therapy to occupational and physical therapy in patients after stroke (DARS): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial // *Lancet Neurol.* 2019. Vol. 18, N 6. P. 530–538. doi: 10.1016/S1474-4422(19)30147-4
14. Bath P.M., Scutt P., Love J., et al. Pharyngeal electrical stimulation for treatment of dysphagia in subacute stroke: a randomized controlled trial // *Stroke.* 2016. Vol. 47, N 6. P. 1562–1570. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.012455
15. Levy R.M., Harvey R.L., Kissela B.M., et al. Epidural electrical stimulation for stroke rehabilitation: results of the prospective, multicenter, randomized, single-blinded everest trial // *Neurorehabil Neural Repair.* 2016. Vol. 30, N 2. P. 107–119. doi: 10.1177/1545968315575613
16. Harvey R.L., Edwards D., Dunning K., et al. Randomized sham-controlled trial of navigated repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery in stroke // *Stroke.* 2018. Vol. 49, N 9. P. 2138–2146. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.020607
17. Saposnik G., Cohen L.G., Mamdani M., et al. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial // *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, N 10. P. 1019–1027. doi: 10.1016/S1474-4422(16)30121-1
18. Brunner I., Skouen J.S., Hofstad H., et al. Virtual reality training for upper-extremity in subacute stroke (VIRTUES): a multicenter RCT // *Neurology.* 2017. Vol. 89, N 24. P. 2413–2421. doi: 10.1212/WNL.0000000000004744
19. Adie K., Schofield C., Berrow M., et al. Does the use of nintendo Wii SportsTM improve arm function? Trial of WiiTM in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis // *Clin Rehabil.* 2017. Vol. 31, N 2. P. 173–185. doi: 10.1177/0269215516637893
20. Cramer S.C., Dodakian L., Le V., et al. Efficacy of home-based telerehabilitation vs in-clinic therapy for adults after stroke: a randomized clinical trial // *JAMA Neurol.* 2019. Vol. 76, N 9. P. 1079–1087. doi: 10.1001/jamaneurol.2019.1604
21. Rodgers H., Bosomworth H., Krebs H.I., et al. Robot assisted training for the upper-limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial // *The Lancet.* 2019. Vol. 394, N 10192. P. 51–62. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31055-4
22. Silver B. Virtual reality versus reality in post-stroke rehabilitation // *Lancet Neurol.* 2016. Vol. 15, N 10. P. 996–997. doi: 10.1016/S1474-4422(16)30126-0
23. Schultheis M.T., Rizzo A.A. The application of virtual reality technology in rehabilitation // *Rehabilitation Psychology.* 2001. Vol. 46, N 3. P. 296. doi: 10.1037/0090-5550.46.3.296
24. Levin M.F., Weiss P.L., Keshner E.A. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles // *Phys Ther.* 2015. Vol. 95, N 3. P. 415–425. doi: 10.2522/ptj.20130579
25. Kleim J.A., Jones T.A. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage // *J Speech Lang Hear Res.* 2008. Vol. 51, N 1. P. S225–S239. doi: 10.1044/1092-4388(2008/018)
26. Карпов О.Э., Даминов В.Д., Новак Э.В., и др. Технологии виртуальной реальности в медицинской реабилитации, как пример современной информатизации здравоохранения // *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2020. Т. 15, № 1. С. 89–98. doi: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017
27. Lee H.S., Lim J.H., Jeon B.H., Song C.S. Non-immersive virtual reality rehabilitation applied to a task-oriented approach for stroke patients: a randomized controlled trial // *Restor Neurol Neurosci.* 2020. Vol. 38, N 2. P. 165–172. doi: 10.3233/RNN-190975
28. Merians A.S., Jack D., Boian R., et al. Virtual reality — augmented rehabilitation for patients following stroke // *Phys Ther.* 2002. Vol. 82, N 9. P. 898–915. doi: 10.1093/ptj/82.9.898

29. Burke J.W., McNeill M., Charles D.K., et al. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games // *Vis Comput.* 2009. Vol. 25. P. 1085–1099. doi: 10.1007/s00371-009-0387-4
30. Mihelj M., Novak D., Milavec M., et al. Virtual rehabilitation environment using principles of intrinsic motivation and game design // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments.* 2012. Vol. 21, N 1. P. 1–15. doi: 10.1162/PRES\_a\_00078
31. Plummer P., Villalobos R.M., Vayda M.S., et al. Feasibility of dual-task gait training for community-dwelling adults after stroke: a case series // *Stroke Res Treat.* 2014. Vol. 2014. P. 538602. doi: 10.1155/2014/538602
32. An H.J., Kim J.I., Kim Y.R., et al. The effect of various dual task training methods with gait on the balance and gait of patients with chronic stroke // *J Phys Ther Sci.* 2014. Vol. 26, N 8. P. 1287–1291. doi: 10.1589/jpts.26.1287
33. Her J.G., Park K.D., Yang Y., et al. Effects of balance training with various dual-task conditions on stroke patients // *J Phys Ther Sci.* 2011. Vol. 23, N 5. P. 713–717. doi: 10.1589/jpts.23.713
34. Fishbein P., Hutzler Y., Ratmansky M., et al. A preliminary study of dual-task training using virtual reality: influence on walking and balance in chronic poststroke survivors // *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019. Vol. 28, N 11. P. 104343. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104343
35. Петриков С.С., Гречко А.В., Щелкунова И.Г., и др. Новые перспективы двигательной реабилитации пациентов после очагового поражения головного мозга // *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко.* 2019. Т. 83, № 6. С. 90–99. doi: 10.17116/neiro20198306190
36. Subramaniam S., Wan-Ying Hui-Chan Ch., Bhatt T., et al. A cognitive-balance control training paradigm using wii fit to reduce fall risk in chronic stroke survivors // *J Neurol Phys Ther.* 2014. Vol. 38, N 4. P. 216–225. doi: 10.1097/NPT.0000000000000056
37. Kannan L., Vora J., Bhatt T., Hughes S.L. Cognitive-motor exergaming for reducing fall risk in people with chronic stroke: a randomized controlled trial // *NeuroRehabilitation.* 2019. Vol. 44, N 4. P. 493–510. doi: 10.3233/NRE-182683
38. Hatem S.M., Saussez G., Della Faille M., et al. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery // *Front Hum Neurosci.* 2016. Vol. 10. P. 442. doi: 10.3389/fnhum.2016.00442
39. Laver K.E., Lange B., George S., et al. Virtual reality for stroke rehabilitation // *Cochrane Database Syst Rev.* 2017. Vol. 11, N 11. P. CD008349. doi: 10.1002/14651858.CD008349.pub4
40. Aminov A., Rogers J.M., Middleton S., et al. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes // *J Neuroeng Rehabil.* 2018. Vol. 15, N 1. P. 29. doi: 10.1186/s12984-018-0370-2
41. Aramaki A.L., Sampaio R.F., Reis A.C.S., et al. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review // *Arq Neuropsiquiatr.* 2019. Vol. 77, N 4. P. 268–278. doi: 10.1590/0004-282X20190025
42. Shin J.H., Kim M.Y., Lee J.Y., et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial // *J Neuroeng Rehabil.* 2016. Vol. 13. P. 17. doi: 10.1186/s12984-016-0125-x
43. Hee-Tae J., Hwan K., Jugyeong J., et al. Feasibility of using the RAPAE Smart Glove in upper limb physical therapy for patients after stroke: a randomized controlled trial // *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017. Vol. 2017. P. 3856–3859. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037698
44. Choi Y.H., Paik N.J. Mobile game-based virtual reality program for upper extremity stroke rehabilitation // *J Vis Exp.* 2018. Vol. 133. P. 56241. doi: 10.3791/56241
45. Lee H.S., Lim J.H., Jeon B.H., Song C.S. Non-immersive virtual reality rehabilitation applied to a task-oriented approach for stroke patients: a randomized controlled trial // *Restor Neurol Neurosci.* 2020. Vol. 38, N 2. P. 165–172. doi: 10.3233/RNN-190975
46. Kang M.G., Yun S.J., Lee S.Y., et al. Effects of upper-extremity rehabilitation using smart glove in patients with subacute stroke: results of a prematurely terminated multicenter randomized controlled trial // *Front Neurol.* 2020. Vol. 11. P. 580393. doi: 10.3389/fneur.2020.580393
47. Park Y.S., An C.S., Lim C.G. Effects of a rehabilitation program using a wearable device on the upper limb function, performance of activities of daily living, and rehabilitation participation in patients with acute stroke // *Int J Environ Res Public Health.* 2021. Vol. 18, N 11. P. 5524. doi: 10.3390/ijerph18115524
48. El-Kafy E.M.A., Alshehri M.A., El-Fiky A.A., Guermazi M.A. The effect of virtual reality-based therapy on improving upper limb functions in individuals with stroke: a randomized control trial // *Front Aging Neurosci.* 2021. Vol. 13. P. 731343. doi: 10.3389/fnagi.2021.731343
49. Chen J., Or C.K., Chen T. Effectiveness of using virtual reality-supported exercise therapy for upper extremity motor rehabilitation in patients with stroke: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *J Med Internet Res.* 2022. Vol. 24, N 6. P. e24111. doi: 10.2196/24111
50. Lansberg M.G., Legault C., MacLellan A., et al. Home-based virtual reality therapy for hand recovery after stroke // *PM R.* 2022. Vol. 14, N 3. P. 320–328. doi: 10.1002/pmrj.12598
51. Jonsdottir J., Baglio F., Gindri P., et al. Virtual reality for motor and cognitive rehabilitation from clinic to home: a pilot feasibility and efficacy study for persons with chronic stroke // *Front Neurol.* 2021. Vol. 12. P. 601131. doi: 10.3389/fneur.2021.601131
52. Domínguez-Téllez P., Moral-Muñoz J.A., Salazar A., et al. Game-based virtual reality interventions to improve upper limb motor function and quality of life after stroke: systematic review and meta-analysis // *Games Health J.* 2020. Vol. 9, N 1. P. 1–10. doi: 10.1089/g4h.2019.0043
53. Zhang B., Li D., Liu Y., et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: a systematic review and meta-analysis // *J Adv Nurs.* 2021. Vol. 77, N 8. P. 3255–3273. doi: 10.1111/jan.14800
54. Gao Y., Ma L., Lin C., et al. Effects of virtual reality-based intervention on cognition, motor function, mood, and activities of daily living in patients with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Front Aging Neurosci.* 2021. Vol. 13. P. 766525. doi: 10.3389/fnagi.2021.766525
55. Barcala L., Grecco L.A., Colella F., et al. Visual biofeedback balance training using wii fit after stroke: a randomized controlled trial // *J Phys Ther Sci.* 2013. Vol. 25, N 8. P. 1027–1032. doi: 10.1589/jpts.25.1027

56. Kayabinar B., Alemdaroğlu-Gürbüz İ., Yılmaz Ö. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2021. Vol. 57, N 2. P. 227–237. doi: 10.23736/S1973-9087.21.06441-8
57. Chen L., Lo W.L., Mao Y.R., et al. Effect of virtual reality on postural and balance control in patients with stroke: a systematic literature review // *Biomed Res Int*. 2016. Vol. 2016. P. 7309272. doi: 10.1155/2016/7309272
58. Bruni M.F., Melegari C., De Cola M.C., et al. What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: a systematic review and meta-analysis // *J Clin Neurosci*. 2018. Vol. 48. P. 11–17. doi: 10.1016/j.jocn.2017.10.048
59. Bergmann J., Krewer C., Bauer P., et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with

- a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018. Vol. 54, N 3. P. 397–407. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04735-9
60. Wiley E., Khattab S., Tang A. Examining the effect of virtual reality therapy on cognition post-stroke: a systematic review and meta-analysis // *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2022. Vol. 17, N 1. P. 50–60. doi: 10.1080/17483107.2020.1755376
61. Bernhardt J., Borschmann K.N., Kwakkel G., et al. Setting the scene for the second stroke recovery and rehabilitation roundtable // *Int J Stroke*. 2019. Vol. 14, N 5. P. 450–456. doi: 10.1177/1747493019851287
62. Maggio M.G., Latella D., Maresca G., et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview // *J Neurosci Nurs*. 2019. Vol. 51, N 2. P. 101–105. doi: 10.1097/JNN.0000000000000423

## REFERENCES

1. Piradov MA, Tanashjan MM, Maksimova MJu. *Insul't: sovremennye tehnologii diagnostiki i lecheniya. 3-e izd.* Moscow: MEDpress-inform; 2018. 360 p. (In Russ).
2. Abubakar SA, Isezuo SA. Health related quality of life of stroke survivors: experience of a stroke unit. *Int J Biomed Sci*. 2012;8(3):183–187.
3. Brainin M, Norrving B, Sunnerhagen KS, et al. Poststroke chronic disease management: towards improved identification and interventions for post-stroke spasticity-related complications. *Int J Stroke*. 2011;6(1):42–46. doi: 10.1111/j.1747-4949.2010.00539.x
4. Mellon L, Brewer L, Hall P, et al. Cognitive impairment six months after ischaemic stroke: a profile from the ASPIRE-S study. *BMC Neurol*. 2015;15:31. doi: 10.1186/s12883-015-0288-2
5. Fakhretdinov VV, Brynza NS, Kurmangulov AA. Modern approaches to rehabilitation of patients after stroke. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*. 2019;18(2):182–189 (In Russ).
6. Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol*. 2009;8(8):741–754. doi: 10.1016/S1474-4422(09)70150-4
7. Winstein CJ, Wolf SL, Dromerick AW, et al. Effect of a task-oriented rehabilitation program on upper extremity recovery following motor stroke: the ICARE randomized clinical trial. *JAMA*. 2016;315(6):571–581. doi: 10.1001/jama.2016.0276
8. Kwakkel G, Winters C, Van Wegen EE, et al. Effects of unilateral upper-limb training in two distinct prognostic groups early after stroke: the EXPLICIT-stroke randomized clinical trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(9):804–816. doi: 10.1177/1545968315624784
9. Yelnik AP, Quintaine V, Andriantsifanetra C, et al. AMOBES (active mobility very early after stroke): a randomized controlled trial. *Stroke*. 2017;48(2):400–405. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.014803
10. Pomeroy VM, Hunter SM, Johansen-Berg H, et al. *Functional strength training versus movement performance therapy for upper-limb motor recovery early after stroke: a RCT*. Southampton (UK): NIHR Journals Library; 2018. doi: 10.3310/eme05030
11. Muresanu DF, Heiss W-D, Hoemberg V, et al. Cerebrolysin and recovery after stroke (CARS): a randomized, placebo-controlled, double-blind, multicenter trial. *Stroke*. 2016;47(1):151–159. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.009416
12. Cramer SC, Enney LA, Russell CK, et al. Proof-of-concept randomized trial of the monoclonal antibody GSK249320 versus placebo in stroke patients. *Stroke*. 2017;48(3):692–698. doi: 10.1161/STROKEAHA.116.014517
13. Ford GA, Bhakta BB, Cozens A, et al. Safety and efficacy of co-careldopa as an add-on therapy to occupational and physical therapy in patients after stroke (DARS): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Neurol*. 2019;18(6):530–538. doi: 10.1016/S1474-4422(19)30147-4
14. Bath PM, Scutt P, Love J, et al. Pharyngeal electrical stimulation for treatment of dysphagia in subacute stroke: a randomized controlled trial. *Stroke*. 2016;47(6):1562–1570. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.012455
15. Levy RM, Harvey RL, Kissela BM, et al. Epidural electrical stimulation for stroke rehabilitation: results of the prospective, multicenter, randomized, single-blinded everest trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(2):107–119. doi: 10.1177/1545968315575613
16. Harvey RL, Edwards D, Dunning K, et al. Randomized sham-controlled trial of navigated repetitive transcranial magnetic stimulation for motor recovery in stroke. *Stroke*. 2018;49(9):2138–2146. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.020607
17. Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, et al. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *Lancet Neurol*. 2016;15(10):1019–1027. doi: 10.1016/S1474-4422(16)30121-1
18. Brunner I, Skouen JS, Hofstad H, et al. Virtual reality training for upper-extremity in subacute stroke (VIRTUES): a multicenter RCT. *Neurology*. 2017;89(24):2413–2421. doi: 10.1212/WNL.0000000000004744
19. Adie K, Schofield C, Berrow M, et al. Does the use of nintendo Wii Sports™ improve arm function? Trial of Wii™ in Stroke: a randomized controlled trial and economics analysis. *Clin Rehabil*. 2017;31(2):173–185. doi: 10.1177/0269215516637893
20. Cramer SC, Dodakian L, Le V, et al. Efficacy of home-based telerehabilitation vs in-clinic therapy for adults after stroke: a randomized clinical trial. *JAMA Neurol*. 2019;76(9):1079–1087. doi: 10.1001/jamaneurol.2019.1604
21. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, et al. Robot assisted training for the upper-limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial. *The Lancet*. 2019;394(10192):51–62. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31055-4



22. Silver B. Virtual reality versus reality in post-stroke rehabilitation. *Lancet Neurol.* 2016;15(10):996–997. doi: 10.1016/S1474-4422(16)30126-0
23. Schultheis MT, Rizzo AA. The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology.* 2001;46(3):296. doi: 10.1037/0090-5550.46.3.296
24. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther.* 2015;95(3):415–425. doi: 10.2522/ptj.20130579
25. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res.* 2008;51(1):S225–S239. doi: 10.1044/1092-4388(2008/018)
26. Karpov OE, Daminov VD, Novak EV, et al. Virtual reality technologies in medical rehabilitation as an example of modern health informatization. *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center.* 2020;15(1):89–98. (In Russ). doi: 10.25881/BPNMSC.2020.71.14.017
27. Lee HS, Lim JH, Jeon BH, Song CS. Non-immersive virtual reality rehabilitation applied to a task-oriented approach for stroke patients: a randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020;38(2):165–172. doi: 10.3233/RNN-190975
28. Merians AS, Jack D, Boian R, et al. Virtual reality — augmented rehabilitation for patients following stroke. *Phys Ther.* 2002;82(9):898–915. doi: 10.1093/ptj/ 82.9.898
29. Burke JW, McNeill M, Charles DK, et al. Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *Vis Comput.* 2009;25:1085–1099. doi: 10.1007/s00371-009-0387-4
30. Mihelj M, Novak D, Milavec M, et al. Virtual rehabilitation environment using principles of intrinsic motivation and game design. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments.* 2012;21(1):1–15. doi: 10.1162/PRES\_a\_00078
31. Plummer P, Villalobos RM, Vayda MS, et al. Feasibility of dual-task gait training for community-dwelling adults after stroke: a case series. *Stroke Res Treat.* 2014;2014:538602. doi: 10.1155/2014/538602
32. An HJ, Kim JI, Kim YR, et al. The effect of various dual task training methods with gait on the balance and gait of patients with chronic stroke. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(8):1287–1291. doi: 10.1589/jpts.26.1287
33. Her JG, Park KD, Yang Y, et al. Effects of balance training with various dual-task conditions on stroke patients. *J Phys Ther Sci.* 2011;23(5):713–717. doi: 10.1589/jpts.23.713
34. Fishbein P, Hutzler Y, Ratmansky M, et al. A preliminary study of dual-task training using virtual reality: influence on walking and balance in chronic poststroke survivors. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(11):104343. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104343
35. Petrikov SS, Grechko AV, Shchelkunova IG, et al. New perspectives of motor rehabilitation of patients after focal brain lesions. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2019;83(6):90–99. (In Russ, In Engl). doi: 10.17116/neiro20198306190
36. Subramaniam S, Wan-Ying Hui-Chan Ch, Bhatt T, et al. 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: 10.977/NPT.0000000000000056
37. Kannan L, Vora J, Bhatt T, Hughes SL. Cognitive-motor exercising for reducing fall risk in people with chronic stroke: a randomized controlled trial. *NeuroRehabilitation.* 2019;44(4):493–510. doi: 10.3233/NRE-182683
38. Hatem SM, Saussez G, Della Faille M, et al. Rehabilitation of motor function after stroke: a multiple systematic review focused on techniques to stimulate upper extremity recovery. *Front Hum Neurosci.* 2016;10:442. doi: 10.3389/fnhum.2016.00442
39. Laver KE, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;11(11):CD008349. doi: 10.1002/14651858.CD008349.pub4
40. Aminov A, Rogers JM, Middleton S, et al. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):29. doi: 10.1186/s12984-018-0370-2
41. Aramaki AL, Sampaio RF, Reis ACS, et al. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review. *Arq Neuropsiquiatr.* 2019;77(4):268–278. doi: 10.1590/0004-282X20190025
42. Shin JH, Kim MY, Lee JY, et al. Effects of virtual reality-based rehabilitation on distal upper extremity function and health-related quality of life: a single-blinded, randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13:17. doi: 10.1186/s12984-016-0125-x
43. Hee-Tae J, Hwan K, Jugyeong J, et al. Feasibility of using the RAPAE Smart Glove in upper limb physical therapy for patients after stroke: a randomized controlled trial. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017;2017:3856–3859. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037698
44. Choi YH, Paik NJ. Mobile game-based virtual reality program for upper extremity stroke rehabilitation. *J Vis Exp.* 2018;(133):56241. doi: 10.3791/56241
45. Lee HS, Lim JH, Jeon BH, Song CS. Non-immersive virtual reality rehabilitation applied to a task-oriented approach for stroke patients: a randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci.* 2020;38(2):165–172. doi: 10.3233/RNN-190975
46. Kang MG, Yun SJ, Lee SY, et al. Effects of upper-extremity rehabilitation using smart glove in patients with subacute stroke: results of a prematurely terminated multicenter randomized controlled trial. *Front Neurol.* 2020;11:580393. doi: 10.3389/fneur.2020.580393
47. Park YS, An CS, Lim CG. Effects of a rehabilitation program using a wearable device on the upper limb function, performance of activities of daily living, and rehabilitation participation in patients with acute stroke. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(11):5524. doi: 10.3390/ijerph18115524
48. El-Kafy EMA, Alshehri MA, El-Fiky AA, Guermazi MA. The effect of virtual reality-based therapy on improving upper limb functions in individuals with stroke: a randomized control trial. *Front Aging Neurosci.* 2021;13:731343. doi: 10.3389/fnagi.2021.731343
49. Chen J, Or CK, Chen T. Effectiveness of using virtual reality-supported exercise therapy for upper extremity motor rehabilitation in patients with stroke: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Med Internet Res.* 2022;24(6):e24111. doi: 10.2196/24111
50. Lansberg MG, Legault C, MacLellan A, et al. Home-based virtual reality therapy for hand recovery after stroke. *PM R.* 2022;14(3):320–328. doi: 10.1002/pmrj.12598
51. Jonsdottir J, Baglio F, Gindri P, et al. Virtual reality for motor and cognitive rehabilitation from clinic to home: a pilot feasibility and efficacy study for persons with chronic stroke. *Front Neurol.* 2021;12:601131. doi: 10.3389/fneur.2021.601131



52. Domínguez-Téllez P, Moral-Muñoz JA, Salazar A, et al. Game-based virtual reality interventions to improve upper limb motor function and quality of life after stroke: systematic review and meta-analysis. *Games Health J.* 2020;9(1):1–10. doi: 10.1089/g4h.2019.0043
53. Zhang B, Li D, Liu Y, et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J Adv Nurs.* 2021;77(8):3255–3273. doi: 10.1111/jan.14800
54. Gao Y, Ma L, Lin C, et al. Effects of virtual reality-based intervention on cognition, motor function, mood, and activities of daily living in patients with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Aging Neurosci.* 2021;13:766525. doi: 10.3389/fnagi.2021.766525
55. Barcala L, Grecco LA, Colella F, et al. Visual biofeedback balance training using wii fit after stroke: a randomized controlled trial. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(8):1027–1032. doi: 10.1589/jpts.25.1027
56. Kayabinar B, Alemdaroğlu-Gürbüz İ, Yılmaz Ö. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2021;57(2):227–237. doi: 10.23736/S1973-9087.21.06441-8
57. Chen L, Lo WL, Mao YR, et al. Effect of virtual reality on postural and balance control in patients with stroke: a systematic literature review. *Biomed Res Int.* 2016;2016:7309272. doi: 10.1155/2016/7309272
58. Bruni MF, Melegari C, De Cola MC, et al. What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci.* 2018;48:11–17. doi: 10.1016/j.jocn.2017.10.048
59. Bergmann J, Krewer C, Bauer P, et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a sub-acute stroke: a pilot randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018;54(3):397–407. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04735-9
60. Wiley E, Khattab S, Tang A. Examining the effect of virtual reality therapy on cognition post-stroke: a systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 2022;17(1):50–60. doi: 10.1080/17483107.2020.1755376
61. Bernhardt J, Borschmann KN, Kwakkel G, et al. Setting the scene for the second stroke recovery and rehabilitation roundtable. *Int J Stroke.* 2019;14(5):450–456. doi: 10.1177/1747493019851287
62. Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview. *J Neurosci Nurs.* 2019;51(2):101–105. doi: 10.1097/JNN.0000000000000423

## ОБ АВТОРАХ

**\*Петрова Людмила Владимировна**, к.м.н.,  
старший научный сотрудник;  
адрес: Россия, Москва, Земляной вал, 53;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>;  
eLibrary SPIN: 9440-1425;  
e-mail: ludmila.v.petrova@yandex.ru

**Костенко Елена Владимировна**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>;  
eLibrary SPIN: 1343-0947;  
e-mail: ekostenko58@mail.ru

**Погонченкова Ирэна Владимировна**, д.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>;  
eLibrary SPIN: 8861-7367;  
e-mail: pogonchenkovaiv@zdrav.mos.ru

**Копашева Вера Дмитриевна**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-6011>;  
e-mail: blackfoxyyy@gmail.com

## AUTHORS INFO

**\*Liudmila V. Petrova**, Cand. Sci. (Med.),  
senior research associate;  
address: 53 Zemlyanoy val, Moscow, Russia, 105120;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0353-553X>;  
eLibrary SPIN: 9440-1425;  
e-mail: ludmila.v.petrova@yandex.ru

**Elena V. Kostenko**, Dr. Sci. (Med.), professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0902-348X>;  
eLibrary SPIN: 1343-0947;  
e-mail: ekostenko58@mail.ru

**Irena V. Pogonchenkova**, Dr. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-5991>;  
eLibrary SPIN: 8861-7367;  
e-mail: pogonchenkovaiv@zdrav.mos.ru

**Vera D. Kopasheva**;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-6011>;  
e-mail: blackfoxyyy@gmail.com

\*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author