

Применение технологий виртуальной реальности в мультимодальной реабилитации пациентов с постинсультным болевым синдромом: результаты рандомизированного контролируемого исследования

© Н.Н. УСОВА¹, И.П. МАРЬЕНКО², Л.Р. АХМАДЕЕВА³

¹УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Республика Беларусь;

²ГУ «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии», Минск, Республика Беларусь;

³ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценить влияние технологии виртуальной реальности на выраженность и характеристики постинсультного болевого синдрома (ПИБС) и показатели нейротрофинового и нейромедиаторного обмена.

Материал и методы. Реабилитацию с помощью мультимодального афферентного воздействия прошли 59 пациентов основной группы с ПИБС, средний возраст 58,5±9,94 года, из них 38 (64,4%) мужчин и 21 (35,6%) женщина. В группу сравнения вошли 38 пациентов с ПИБС, в реабилитации которых не были использованы виртуальные тренировки, средний возраст 62,1±8,8 года, из них 21 (55,3%) мужчина и 17 (44,7%) женщин. В комплексной реабилитации пациентов после инсульта была использована программа тренировок в виртуальной среде «ВРЗдоровье». Болевой синдром исследовался с использованием визуально-аналоговой шкалы боли, опросников Douleur Neuropathique 4, PainDetect, Макгилловского болевого опросника. Твердофазным иммуноферментным методом определяли концентрацию нейротрофических факторов (BDNF, NGF, VGF) и нейромедиаторов (таких как дофамин, серотонин, субстанция P, норадреналин) в плазме крови. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программы Statistica 12.0.

Результаты. Установлено уменьшение интенсивности ПИБС, числа пациентов с высоковероятной нейропатической болью, сенсорной и аффективной составляющей постинсультного болевого синдрома при использовании тренировок в виртуальной реальности. Выявлено увеличение уровня серотонина и снижение уровня субстанции P под влиянием виртуальной реальности.

Заключение. Показана дополнительная эффективность использования мультимодального воздействия с использованием виртуальной реальности в комплексной медицинской реабилитации пациентов с постинсультным болевым синдромом в виде уменьшения интенсивности и выраженности болевого синдрома. Установлены изменения уровня нейротрофических белков и нейромедиаторов у пациентов с постинсультным болевым синдромом при применении виртуальной реальности, что указывает на ее возможное влияние на центральные патогенетические механизмы постинсультного болевого синдрома.

Ключевые слова: постинсультный болевой синдром, виртуальная реальность, мультимодальное воздействие, постинсультная реабилитация.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Усова Н.Н. — <https://orcid.org/0000-0003-2575-4055>

Марьенко И.П. — <https://orcid.org/0000-0001-6851-1016>

Ахмадеева Л.Р. — <https://orcid.org/0000-0002-1177-6424>

Автор, ответственный за переписку: Усова Наталья Николаевна — e-mail: nata_usova@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Усова Н.Н., Марьенко И.П., Ахмадеева Л.Р. Применение технологий виртуальной реальности в мультимодальной реабилитации пациентов с постинсультным болевым синдромом: результаты рандомизированного контролируемого исследования. *Российский журнал боли.* 2025;23(1):38–44. <https://doi.org/10.17116/pain20252301138>

Virtual reality technologies in multimodal rehabilitation for post-stroke pain: a randomized controlled trial

© N.N. USOVA¹, I.P. MARYENKO², L.R. AKHMADEEVA³

¹Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus;

²Republican Scientific Practical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Republic of Belarus;

³Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

ABSTRACT

Objective. To evaluate the impact of virtual reality technology on severity and characteristics of post-stroke pain syndrome (PSPS) and indicators of neurotrophin and neurotransmitter metabolism.

Material and methods. Rehabilitation with multimodal stimulation was performed in 59 patients of the main group with PSPS (mean age 58.5±9.94 years, 38 (64.4%) men and 21 (35.6%) women). The control group included 38 patients with PSPS, in whose rehabilitation virtual reality training was not used (mean age 62.1±8.8 years, 21 men (55.3%) and 17 (44.7%) women). The virtual reality program “VRZdorovye” was used in rehabilitation of our patients after stroke. Pain syndrome was examined using the visual analogue scale, Douleur Neuropathique 4 (DN4), PainDetect, McGill pain questionnaire. We assessed serum concentration of neurotrophic factors (BDNF, NGF, VGF) and mediators (dopamine, serotonin, substance P, norepinephrine) using solid-phase enzyme immunoassay. Statistical analysis was carried out using the Statistica 12.0 software.

Results. There was less severe pain, smaller number of patients with high risk of neuropathic pain, sensory and affective components of post-stroke pain syndrome in virtual reality group. There was higher serum serotonin and lower substance P after multimodal approach with virtual reality.

Conclusion. Multimodal influence including virtual reality in complex medical rehabilitation of patients with post-stroke pain syndrome decrease pain syndrome. Changes in serum concentration of neurotrophic proteins and neurotransmitters in patients with post-stroke pain syndrome indicate possible effect of virtual reality on central pathogenetic mechanisms of post-stroke pain syndrome.

Keywords: post-stroke pain syndrome, virtual reality, multimodal approach, post-stroke rehabilitation.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Usova N.N. — <https://orcid.org/0000-0003-2575-4055>

Maryenko I.P. — <https://orcid.org/0000-0001-6851-1016>

Akhmadeeva L.R. — <https://orcid.org/0000-0002-1177-6424>

Corresponding authors: Usova N.N. — e-mail: nata_usova@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:

Usova NN, Maryenko IP, Akhmadeeva LR. Virtual reality technologies in multimodal rehabilitation for post-stroke pain: a randomized controlled trial. *Russian journal of pain*. 2025;23(1):38–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/pain20252301138>

Введение

Острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), его последствия и осложнения являются одной из наиболее важных проблем современного здравоохранения. Согласно исследованию Global Burden of Disease Study 2019, инсульт остается на втором месте как причина смерти (11,6% от общего числа смертей) и на третьей позиции при оценке причин смерти и инвалидности вместе взятых (5,7%). За последние 30 лет, с 1990 по 2019 г., произошел рост абсолютного числа случаев инсультов на 70,0%, распространенности ОНМК на 85,0% и смертности от инсульта на 43,0% [1].

Для многих пациентов, перенесших ОНМК, характерно развитие постинсультного болевого синдрома (ПИБС), который значительно ухудшает общее состояние и прогноз восстановления [2, 3]. По данным ряда авторов, хроническая боль после инсульта возникает в 11–55% случаев, при этом около 70% пациентов испытывают ее ежедневно [3].

ПИБС характеризуется гетерогенностью проявлений и механизмов, лежащих в его основе. Различают следующие виды постинсультной боли: центральная постинсультная боль; боль, связанная со спастичностью; скелетно-мышечная боль (в суставах паретичных конечностей, мышцах, в нижней части спины); постинсультная головная боль; комплексный регионарный болевой синдром [4].

В исследовании Е.В. Костенко (2017) из 1317 обследованных пациентов в раннем восстановительном периоде ОНМК в 46% случаев выявлен ПИБС. При этом распределение видов ПИБС было следующим: 8% — центральная постинсультная боль, 37% — боль в плече, 24% — головная боль, 21% — боль при спастичности, 56% — боль в спине [4]. Обращает на себя внимание тот факт, что 29% пациентов имели два вида болевого синдрома, а 17% — три. Установлено, что локализация очага в таламусе и стволе часто является предиктором возникновения центрального болевого синдрома [5].

Зачастую прогноз ПИБС неблагоприятный, болевой синдром может сохраняться на протяжении всей жизни [2]. При постинсультной боли значительно снижается качество жизни, потенцируется развитие депрессии или тревоги, возникают нарушения сна. Пациенты с длительным анамнезом приема противоболевых препаратов имеют риск развития зависимости, плохое социальное взаимодействие, увеличивается риск развития суицидов. У лиц после перенесенного инсульта число попыток самоубийства и их завершение удваиваются [6]. В некоторых странах Европы наличие у пациентов после инсульта выраженного болевого синдрома является обоснованной причиной для эвтаназии пациентов [7].

Зачастую врачи-интернисты и специалисты по медицинской реабилитации уделяют недостаточное внимание адекватному лечению постинсультной боли, сосредотачивая свои усилия на других симптомах и проявлениях ОНМК. Авторы указывают на повышение эффективности реабилитационных мероприятий и улучшение прогноза при своевременном начале и достаточном объеме лечения постинсультного болевого синдрома [8].

Использование новейших компьютерных технологий, в том числе мультимодального воздействия с применением технологий виртуальной реальности (ВР), для медицинской реабилитации пациентов с ОНМК возрастает в геометрической прогрессии в течение последнего десятилетия.

В связи с этим изучение влияния реабилитационных технологий с использованием ВР для лечения постинсультного болевого синдрома является актуальным и инновационным направлением современной неврологии и медицинской реабилитации.

Цель исследования — оценить влияние технологии виртуальной реальности на выраженность и характеристики постинсультного болевого синдрома и показатели нейротрофинового и нейромедиаторного обмена в проспективном рандомизированном контролируемом исследовании.

Материал и методы

Исследование проводилось на базе отделения медицинской реабилитации постинсультных пациентов учреждения «Гомельская университетская клиника — областной госпиталь инвалидов ВОВ», Республика Беларусь.

Для выполнения работы были установлены следующие критерии включения пациентов в исследование и исключения пациентов из исследования.

Критерии включения: установленный диагноз ОНМК — внутримозговое кровоизлияние (МКБ-10: I61), инфаркт мозга (МКБ-10: I63), вне зависимости от периода, последствия цереброваскулярных болезней (МКБ-10: I69.1, I69.3); возраст старше 18 лет; информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Критерии исключения: нарушение сознания (оценка по шкале комы Глазго 14 баллов и менее); выраженный неврологический дефицит, который препятствует проведению тренировки с ВР (отсутствие способности находиться в вертикальном положении стоя или сидя), выраженные когнитивные (оценка по шкале MMSE ниже 10 баллов) или речевые нарушения, которые препятствуют заполнению тестов, дегенеративные и воспалительные заболевания нервной системы, травмы центральной нервной системы в анамнезе, пациенты в терминальной стадии соматических заболеваний, отказавшиеся от участия в исследовании.

Пациенты случайным образом (с использованием онлайн-генератора случайных чисел <https://randomus.ru>) были разделены на две группы: основную группу и группу сравнения (соотношение 1,5:1).

Реабилитацию с помощью мультимодального воздействия с использованием ВР прошли 59 пациентов основной группы с ПИБС, из них 38 (64,4%) мужчин и 21 (35,6%) женщина. Их средний возраст составил 58,5±9,94 года. Инфаркт головного мозга (ИГМ) был установлен в 54 (91,5%) случаях, 5 (8,4%) пациентов перенесли внутримозговое кровоизлияние (ВМК). Повреждение правого каротидного бассейна (ПКБ) наблюдалось у 27 (45,8%) пациентов, левого каротидного бассейна (ЛКБ) — в 20 (33,8%) случаях, вертебробазилярного бассейна (ВББ) — в 8 (13,6%) случаях, мультифокальный инфаркт мозга — в 4 (6,8%) случаях.

В группу сравнения вошли 38 пациентов с ПИБС, в реабилитации которых не были использованы виртуальные тренировки, из них 21 (55,3%) мужчина и 17 (44,7%) женщин. Их средний возраст составил 62,1±8,8 года. Инфаркт головного мозга был установлен в 33 (86,8%) случаях, 5 (13,1%) пациентов перенесли ВМК. Повреждение ПКБ наблюдалось у 13 (34,2%) пациентов, ЛКБ — в 16 (42,1%) случаях, ВББ — в 7 (18,4%) случаях, мультифокальный инфаркт мозга — в 2 (5,2%) случаях.

Обе обследованные группы были сравнимы по полу и возрасту ($p > 0,05$).

Всем пациентам для диагностики ПИБС был использован алгоритм определения интенсивности и патогенетического подтипа болевого синдрома, который включает оценку результатов использования визуально-аналоговой шкалы (ВАШ) для определения интенсивности боли, опросников скрининговой диагностики нейропатической боли Douleur Neuropathique 4 (DN4) и PainDetect, Макгилловского болевого опросника.

В комплексной реабилитации пациентов после инсульта была использована система ВР и компьютерная про-

грамма «ВРЗдоровье» [9], с помощью которой создавалась проекция туловища пациента в виртуальной среде с последующим его перемещением в ходе специально созданных компьютерных игр.

Тренировка включала три задания, во время которых персонаж игры должен был передвигаться в виртуальной среде при помощи движений туловища пациента. Контроллер управления героем фиксировался на пояс пациента и регистрировал перемещение его тела в пространстве. Продолжительность тренировки при выполнении каждого упражнения составляла 2,5 мин. Курс тренировок составлял 5—10 процедур. Протокол исследования утвержден комитетом по этике государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии» Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

Эффективность используемых методик подтверждалась с помощью анализа концентрации нейротрофических факторов (BDNF, NGF, VGF) и нейромедиаторов (таких как дофамин, серотонин, субстанция P, норадреналин) в плазме крови пациентов, которую определяли твердофазным иммуноферментным методом (ELISA) с применением микропланшетного фотометра SunriseTecan (Австрия) и наборов реагентов производства Elabscience (Китай) согласно инструкциям производителя.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась с помощью компьютерной программы Statistica 12.0 (StatSoft, США). Количественные данные представлены в случаях несоответствия закону нормального распределения в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (25-й (LQ); 75-й (UQ) перцентили). При сравнении показателей независимых выборок использовали: в случаях несоответствия закону нормального распределения U-критерий Манна—Уитни. При сравнении зависимых выборок применялся T-критерий Уилкоксона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез был принят равным 5% ($p < 0,05$).

Результаты

Оценка интенсивности ПИБС в динамике в обеих группах представлена в **табл. 1**.

Как видно из **табл. 1**, у пациентов с ПИБС наблюдалась боль умеренной интенсивности, которая значимо уменьшилась после проведения виртуальных тренировок. В группе сравнения (с ПИБС без использования воздействия ВР) значимого уменьшения боли после проведенного курса лечения не произошло.

Выполнен анализ интенсивности болевого синдрома при различных видах ОНМК и локализации очагов в основной группе (с использованием ВР) (**табл. 2**).

Было установлено, что значимой разницы в интенсивности болевого синдрома при различных видах и локализации ОНМК не наблюдалось. Уменьшение боли после курса ВР происходило при любом виде ОНМК при локализации очага в каротидных бассейнах. При локализации очага инсульта в ВББ после лечения средний уровень болевого синдрома был значимо меньше, чем у пациентов с поражением ПКБ. Кроме этого, был выполнен анализ интенсивности болевого синдрома при различных видах и локализации ОНМК в группе сравнения (без использования ВР) (**табл. 3**).

Таблица 1. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ в группах
Table 1. VAS scores of pain in both groups

Группа	Боль в момент обследования, баллы		Самая сильная боль в течение 1 мес, баллы		Средний уровень боли в течение 1 мес, баллы	
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
Основная группа	5,0 [4,0; 6,0]	3,0 [0; 4,0]*	6,0 [5,0; 7,0]	5,0 [3,0; 7,0]*	5,0 [4,0; 6,0]	4,0 [2,0; 5,0]*
Группа сравнения	4,0 [3,0; 8,0]	3,0 [2,0; 5,0]	6,0 [5,0; 8,0]	5,0 [5,0; 6,0]	5,0 [4,0; 6,0]	3,0 [2,0; 5,0]

Примечание. ВАШ — визуально-аналоговая шкала. * — значимые различия при сравнении значений в группе до и после лечения ($p < 0,05$).

Таблица 2. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ при различных видах и локализации ОНМК в основной группе пациентов (с использованием виртуальной реальности)

Table 2. VAS scores of pain in different stroke subtypes and areas in the main group

Вид ОНМК, локализация ОНМК	Боль в момент обследования, баллы		Самая сильная боль в течение 1 мес, баллы		Средний уровень боли в течение 1 мес, баллы	
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
ИГМ	5,0 [3,0; 6,0]	2,5 [0; 4,0]*	6,0 [5,0; 8,0]	5,0 [3,0; 7,0]*	5,0 [4,0; 6,0]	4,0 [1,0; 5,0]*
ВМК	5,0 [5,0; 5,0]	3,0 [2,0; 3,0]*	5,0 [5,0; 6,0]	6,0 [5,0; 7,0]*	5,0 [5,0; 5,0]	4,0 [4,0; 4,0]*
ЛКБ	5,0 [3,0; 5,0]	2,5 [0; 3,0]*	5,0 [4,0; 7,0]	4,5 [0; 7,0]	4,5 [3,0; 5,0]	4,0 [0; 4,0]*
ПКБ	5,0 [4,0; 6,0]	3,0 [1,0; 4,0]*	6,0 [5,0; 8,0]	6,0 [4,0; 7,0]*	5,0 [4,0; 6,0]	4,0 [3,0; 6,0]*
ВББ	3,5 [1,5; 5,5]	1,0 [0,5; 1,5]	6,0 [4,5; 7,5]	5,0 [3,5; 6,5]	3,5 [2,5; 5,5]	1,5 [1,0; 2,5]**
Мультифокальный ИГМ	5,0 [4,0; 6,0]	1,5 [0; 3,0]	9,5 [9,0; 10,0]	7,5 [6,0; 9,0]	7,5 [6,0; 9,0]	5,5 [5,0; 6,0]

Примечание. ВАШ — визуально-аналоговая шкала; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; ИГМ — инфаркт головного мозга; ВМК — внутримозговое кровоизлияние; ЛКБ — левый каротидный бассейн; ПКБ — правый каротидный бассейн; ВББ — вертебробазилярный бассейн. * — значимые различия при сравнении значений до и после лечения ($p < 0,05$); ** — при сравнении значений между подгруппами с локализацией очага в ПКБ и ВББ ($p = 0,04$).

Показано, что значимых различий между значениями интенсивности болевого синдрома по ВАШ у пациентов при различных видах и локализации ОНМК, а также в динамике после лечения зарегистрировано не было.

Для скрининговой диагностики нейропатической боли были использованы опросники DN4 и PainDetect. В основной группе медианное значение по шкале PainDetect в начале лечения равнялось 10,0 [6,0; 17,0] балла, а по окончании курса ВР оно составило 6,0 [1,0; 13,0] балла ($p < 0,001$). При этом число пациентов с высоковероятной нейропатической болью, согласно результатам, полученным по опроснику PainDetect, в начале лечения равнялось 10 (16,9%), а в конце лечения уменьшилось до 4 (6,8%).

Начальный результат оценки по шкале DN4 в основной группе составил 4,0 [3,0; 6,0] балла, а после проведенной реабилитации — 2,0 [0; 4,0] балла, что также значительно различается в динамике ($p = 0,008$). При этом число пациентов с нейропатической болью, согласно результатам, полученным по опроснику DN4, в начале лечения составляло 23 (58,9%), а в конце лечения уменьшилось до 12 (31,6%).

У пациентов с ПИБС, которые проходили курс реабилитации в классическом варианте, без использования тренировок с ВР (группа сравнения), медианное значение по шкале PainDetect в начале лечения равнялось 10,0 [5,0; 13,0] балла, а по окончании курса лечения составило 9,0 [4,0; 12,0] балла. При этом число пациентов с вы-

соковероятной нейропатической болью, согласно результатам, полученным по опроснику PainDetect, в начале лечения равнялось 3 (7,9%), а в конце лечения — 2 (5,3%).

Начальный результат оценки по шкале DN4 в группе сравнения составил 3,0 [2,0; 4,0] балла, а после проведенной реабилитации — 3,0 [2,0; 3,0] балла, что также не различается в динамике. При этом число пациентов с нейропатической болью, согласно результатам, полученным по опроснику DN4, в начале лечения составляло 4 (44,4%), а в конце лечения уменьшилось до 1 (20,0%).

Для анализа вербальных дескрипторов болевого синдрома был использован Макгилловский опросник. У обследованных пациентов с ПИБС до проведения курса реабилитации с использованием ВР (основная группа) индекс числа выбранных дескрипторов (ИЧВД) по сенсорной шкале составил 6,0 [3,0; 12,0], ИЧВД по аффективной шкале — 3,0 [1,0; 6,0], ранговый индекс боли (РИБ) по сенсорной шкале — 14,0 [5,0; 23,0], РИБ по аффективной шкале — 5,0 [2,0; 7,0], оценка по эвалютивной шкале равнялась 2,0 [2,0; 3,0] балла. После проведения курса ВР значения по Макгилловскому опроснику в основной группе были следующими: ИЧВД сенсорный составил 3,0 [1,0; 6,0], ИЧВД аффективный — 2,0 [0; 3,0], РИБ сенсорный — 5,0 [1,0; 12,0], РИБ аффективный — 2,0 [0; 4,0], оценка по эвалютивной шкале равнялась 1,0 [1,0; 2,0] балла, что значительно меньше по сравнению с начальными значениями по всем показателям ($p < 0,05$).

Таблица 3. Интенсивность болевого синдрома по ВАШ при различных видах и локализации ОНМК в группе сравнения (без использования виртуальной реальности)

Table 3. VAS scores of pain in different stroke subtypes and areas in the control group

Вид ОНМК, локализация ОНМК	Боль в момент обследования, баллы		Самая сильная боль в течение 1 мес, баллы		Средний уровень боли в течение 1 мес, баллы	
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
ИГМ	4,0 [2,5; 8,0]	3,5 [1,0; 6,5]	6,5 [4,5; 8,0]	5,5 [4,5; 7,0]	5,5 [4,0; 7,0]	3,5 [2,0; 6,5]
ВМК	3,0 [3,0; 3,0]	3,0 [3,0; 3,0]	5,0 [5,0; 5,0]	5,0 [5,0; 5,0]	4,0 [4,0; 4,0]	4,0 [4,0; 4,0]
ЛКБ	3,0 [2,0; 8,0]	3,0 [0; 5,0]	6,0 [5,0; 8,0]	5,0 [5,0; 6,0]	6,0 [5,0; 8,0]	3,0 [2,0; 5,0]
ПКБ	4,0 [3,0; 8,0]	5,0 [2,0; 8,0]	4,0 [3,0; 8,0]	6,0 [4,0; 8,0]	4,0 [3,0; 6,0]	5,0 [2,0; 8,0]
ВББ	4,0 [4,0; 4,0]	7,0 [7,0; 7,0]	4,0 [4,0; 4,0]	4,0 [4,0; 4,0]	7,0 [7,0; 7,0]	4,0 [4,0; 4,0]

Примечание. ВАШ — визуально-аналоговая шкала. * — значимые различия при сравнении значений до и после лечения ($p < 0,05$).

У пациентов с ПИБС группы сравнения результаты, полученные по Макгилловскому опроснику, были следующими: до проведения курса реабилитации ИЧВД сенсорный — 3,0 [2,0; 4,0], ИЧВД аффективный — 2,0 [2,0; 4,0], РИБ сенсорный — 5,0 [3,0; 10,0], РИБ аффективный — 4,0 [2,0; 6,0], оценка по эвалютивной шкале равнялась 2,0 [2,0; 2,0] балла. После проведения курса стандартной реабилитации в группе сравнения значения по Макгилловскому опроснику стали следующими: ИЧВД сенсорный — 3,0 [2,0; 4,0], ИЧВД аффективный — 4,0 [2,0; 4,0], РИБ сенсорный — 5,0 [4,0; 8,0], РИБ аффективный — 5,0 [4,0; 7,0], оценка по эвалютивной шкале равнялась 2,0 [2,0; 3,0] балла, что не отличалось от начальных значений по всем показателям ($p > 0,05$).

Таким образом, использование при комплексной медицинской реабилитации мультимодального афферентного воздействия в виде тренировок в ВР привело к уменьшению интенсивности ПИБС, снижению числа пациентов с высоковероятной нейропатической болью, сенсорной и аффективной модальностей при описании боли.

Проанализированы уровни нейроактивных веществ в динамике у лиц основной группы с наличием постинсультной боли до и после проведения медицинской реабилитации с использованием ВР (табл. 4).

У пациентов с ПИБС при использовании в программе воздействия ВР показан значимый подъем уровня серотонина, что, вероятно, указывает на активацию антиноцицептивных нейромедиаторных систем, отвечающих за центральную модуляцию боли. Показаны изменения уровней нейротрофинов и нейромедиаторов у пациентов после лечения с использованием и без использования ВР (табл. 5).

Установлены значимые различия между основной группой и группой сравнения по уровню субстанции Р: при использовании в медицинской реабилитации ВР концентрация данного болевого медиатора была значимо меньше.

Таким образом, были установлены изменения уровня нейротрофических белков и нейромедиаторов у пациентов с ПИБС в процессе медицинской реабилитации с применением мультимодального воздействия с использованием ВР. После проведения медицинской реабилитации с использованием ВР значительно увеличился уровень серотонина. У пациентов с ПИБС, с которыми проводились тренировки с ВР, был значимо ниже уровень субстанции Р (пробового нейромедиатора) по сравнению с группой пациен-

тов с болью, которым проводилась классическая реабилитация, без применения ВР.

Обсуждение

В комплексном лечении ПИБС может использоваться ВР, которая за последнее десятилетие превратилась в передовую технологию для реабилитации после инсульта. Несколько исследований показывают, что ВР может быть эффективна в качестве дополнения или альтернативного немедикаментозного анальгетика в ряде процедур, вызывающих боль, например при стоматологических манипуляциях или инъекциях, особенно в детском возрасте, а также при лечении хронической боли [10]. Предполагают, что ВР прямо или косвенно влияет на когнитивные процессы и процессы внимания, что способствует уменьшению боли. Оценка 20 исследований выявила убедительные доказательства кратковременного снижения интенсивности боли и умеренные доказательства более длительного обезболивания [11]. ВР изменяет нейробиологические взаимодействия в мозге, регулируя сенсорную стимуляцию для получения обезболивающего эффекта [11]. Проведена оценка эффективности восстановления памяти у пациентов после инфаркта мозга и внутримозгового кровоизлияния без погружения в ВР в сравнении с пассивным погружением в ВР, и результаты продемонстрировали значительное улучшение в тестах пространственного распознавания у пациентов, использующих ВР [12]. Кроме этого, использование иммерсивной ВР на дому показало уменьшение постинсультной боли в плече. Развитие и удешевление систем ВР позволяет использовать данные методики в домашней реабилитации пациентов после инсульта. Следует учитывать возрастные особенности пациентов [13] и индивидуально решать вопрос о целесообразности применения методик с использованием ВР в медицинской реабилитации пациентов после инсульта.

Результаты нашего исследования согласуются с данными, полученными другими авторами, и подтверждают эффективность мультимодального реабилитационного воздействия с применением ВР на основании клинических данных и параметров нейротрофинового и нейромедиаторного обмена.

Таблица 4. Уровни нейротрофических веществ у лиц с постинсультным болевым синдромом до и после лечения с использованием виртуальной реальности (основная группа)**Table 4.** Neurotrophins and neuromediators in patients with post-stroke pain syndrome before and after treatment with virtual reality (the main group)

Нейротрофины и нейромедиаторы	До лечения	После лечения
Нейротрофический фактор мозга (BDNF), пг/мл	2690,42 [1969,7; 3597,94]	2647,45 [2088,93; 4048,15]
Фактор роста нервов (NGF), пг/мл	22,93 [16,13; 35,47]	27,51 [17,83; 35,11]
Индукцибельный фактор роста нервов (VGF), пг/мл	22,05 [10,75; 40,03]	29,04 [21,51; 79,61]
Норадреналин, пг/мл	1219,25 [768,5; 3525,6]	1219,25 [768,5; 3525,6]
Субстанция Р, пг/мл	730,49 [330,89; 843,97]	773,05 [375,88; 843,97]
Серотонин, нг/мл	68,62 [56,63; 86,85]	85,58 [56,39; 173,83]*
Дофамин, пг/мл	49,26 [42,88; 75,73]	61,13 [47,72; 110,78]

Примечание. * — значимые различия при сравнении значений показателей в группе до и после лечения ($p < 0,05$).

Таблица 5. Уровни нейротрофинов и нейромедиаторов у пациентов с постинсультным болевым синдромом после лечения с использованием и без использования виртуальной реальности**Table 5.** Serum neurotrophins and neurotransmitters in patients with post-stroke pain syndrome after treatment with and without virtual reality

Нейротрофины и нейромедиаторы	Основная группа	Группа сравнения
Нейротрофический фактор мозга (BDNF), пг/мл	2709,69 [2090,55; 3604,38]	2601,29 [1984,27; 3905,45]
Фактор роста нервов (NGF), пг/мл	34,92 [27,51; 35,11]	18,26 [10,05; 37,41]
Индукцибельный фактор роста нервов (VGF), пг/мл	41,95 [29,04; 79,61]	23,67 [13,45; 57,56]
Норадреналин, пг/мл	1287,4 [860,43; 3723,8]	3845,05 [1280,0; 6469,72]
Субстанция Р, пг/мл	316,24 [125,76; 687,94]	843,97 [687,94; 955,46]*
Серотонин, нг/мл	53,28 [49,01; 97,62]	111,92 [79,81; 176,35]
Дофамин, пг/мл	61,13 [59,51; 90,94]	67,79 [54,43; 101,19]

Примечание. * — значимые различия значений показателей при сравнении двух групп ($p = 0,03$).

Заключение

Показана эффективность использования мультимодального реабилитационного воздействия с применением виртуальной реальности в комплексном лечении постинсультного болевого синдрома в виде уменьшения интенсивности и выраженности болевого синдрома. Установлены изменения уровня нейротрофических белков и нейромедиаторов у пациентов с постинсультным болевым синдромом при применении виртуальной реальности в реабилитации. После проведения медицинской реабилитации с использованием виртуальной реальности у пациентов значимо увеличился уровень серотонина. У пациентов с постинсультной болью, в реабилитации которых использовались виртуальные тренировки, был значимо ниже уровень субстанции Р по сравнению с группой пациентов с болью без применения виртуальной реальности.

Источники финансирования. Исследование проведено по заданию «Разработать алгоритм определения болевого синдрома у пациентов с инфарктом мозга и внутримозговым кровоизлиянием на раннем и позднем этапах медицинской реабилитации и исследовать эффект действия мультимодального афферентного воздействия на уровень нейротрофических факторов и медиаторов» подпрограммы «Медицинская экспертиза, реабилитация, качество медицинских услуг» ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг, 2021—2025 годы» Республики Беларусь на основании соглашения о сотрудничестве между учреждениями, в которых выполнена работа, программы «Приоритет 2030».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol.* 2021;20(10):795–820. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0)
- Klit XH, Finnerup NB, Jensen TS. Central post-stroke pain: clinical characteristics, pathophysiology, and management. *Lancet Neurol.* 2009;8(9):857–868. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70176-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70176-0)
- Чурюканов М.В. Центральная постинсультная боль: принципы диагностики и коррекции. *Эффективная фармакотерапия.* 2015; 4(49):24–30. Churyukanov MV. Central post-stroke pain: principles of diagnosis and correction. *Effective Pharmacotherapy.* 2015;4(49):24–30. (In Russ.).
- Костенко Е.В. Постинсультные болевые синдромы: клинические аспекты, диагностические критерии, особенности терапии и реабилитационных мероприятий. *Медицинский совет.* 2017;(17):63–71.

- Kostenko EV. Post-stroke pain syndromes: clinical aspects, diagnostic criteria, features of therapy and rehabilitation measures. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2017;(17):63-71. (In Russ.).
<https://doi.org/10.21518/2079-701X-2017-17-63-71>
5. Hansen AP, Marcussen NS, Klit H, Andersen G, Finnerup NB, Jensen TS. Pain following stroke a prospective study. *Eur J Pain*. 2012;16:1128-1136.
<https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2012.00123.x>
6. Eriksson M, Glader ME, Norrving B, Asplund K. Poststroke suicide attempts and completed suicides: a socioeconomic and nationwide perspective. *Neurology*. 2015;84(17):1732-1738.
<https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001514>
7. Kollenburg L, Kurt E, Arnts H, Vinkle S. Cingulotomy: the last man standing in the battle against medically refractory poststroke pain. *PAIN Reports*. 2024;9:e1149.
<https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000001149>
8. Harrison RA, Field TS. Post stroke pain: identification, assessment, and therapy. *Cerebrovasc Dis*. 2015;39(3-4):190-201.
<https://doi.org/10.1159/000375397>
9. Патент РБ на изобретение №23088/2020.08.30. Марьенко И.П., Лихачев С.А., Можейко М.П., Юрченко М.В., Суша Н.А., Иваницкий Е.С., Качановский А.В. Способ оценки состояния функции равновесия человека с использованием игровой виртуальной среды. Ссылка активна на 17.07.2024.
10. Ahmadpour N, Randall H, Choksi H, Gao A, Vaughan C, Poronnik P. Virtual Reality interventions for acute and chronic pain management. *Int J Biochem Cell Biol*. 2019;114:105568.
<https://doi.org/10.1016/j.biocel.2019.105568>
11. Tack C. Virtual reality and chronic low back pain. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2021;16(6):637-645.
<https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1688399>
12. Pourmand A, Davis S, Marchak A, Whiteside T, Sikka N. Virtual Reality as a Clinical Tool for Pain Management. *Curr Pain Headache Rep*. 2018;22(8):53.
<https://doi.org/10.1007/s11916-018-0708-2>
13. Ширшова М.А., Дружинская Е.В., Пензин А.В., Гизатуллин Р.Р., Ахмадеева Л.Р., Галаяутдинов М.Ф. Исследование влияния виртуальной реальности на человека. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024;12(6):165-171.
Shirshova MA, Druzhinskaya EV, Penzin AV, Gizatullin RR, Akhmadeeva LR, Galyautdinov MF. Research of the Impact of Virtual Reality on Humans. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024;12(6):165-171. (In Russ.).

Поступила 22.07.2024

Received 22.07.2024

Принята к печати 09.10.2024

Accepted 09.10.2024