Российский журнал боли
2024, т. 22, №4, с. 81–85
https://doi.org/10.17116/pain20242204181

Russian Journal of Pain
2024, vol. 22, no. 4, pp. 81–85
https://doi.org/10.17116/pain20242204181

Теория функционального разобщения нейроматрикса боли как основа концепции реабилитации пациентов с хронической болью

© Н.С. БОФАНОВА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», кафедра неврологии, нейрохирургии и психиатрии лечебного факультета Медицинского института, Пенза, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Изучить вопрос применения технологии виртуальной реальности в реабилитации пациентов с хронической болью, теоретически обосновать ее использование у обозначенной категории пациентов.

Материал и методы. Проведен поиск доступной литературы, проиндексированной в международных реферативных базах Scopus, Web of Science, PubMed, по ключевым словам: «хроническая боль», «технология виртуальной реальности». Для создания оригинального опросника по подбору персональной симуляционной сцены с применением технологии виртуальной реальности проведен опрос 100 пациентов с хронической болью.

Результаты. По данным доступной литературы, использование технологии виртуальной реальности в реабилитации пациентов с хронической болью возможно, анальгетический эффект достигается за счет активизации антиноцицептивной системы при погружении в симуляционную сцену с помощью отвлечения внимания в комбинации с другими методами реабилитации. Предложена теория функционального разобщения нейроматрикса боли — на основе теории нейроматрикса боли (R. Melzack, 2001) и теории функциональных систем (П.К. Анохин, 1939). Разобщение когнитивного, аффективного, сенсорного компонентов в нейроматриксе боли осуществляется за счет единовременного воздействия положительных стимулов всех анализаторов (зрительного, слухового, осязательного, вкусового, обонятельного), афферентного синтеза (память, мотивация, обстановочная афферентация, пусковая афферентация), правильной копинг-стратегии с помощью персонального сценария симуляторной среды, которая создается посредством технологии виртуальной реальности, что приводит к общему результату — снижению или устранению хронической боли.

Заключение. Технология виртуальной реальности — перспективное направление в реабилитации пациентов с хронической болью. Разработанный опросник для подбора индивидуальной симуляторной сцены можно использовать при проведении отечественных клинических исследований.

Ключевые слова: *хроническая боль, технология виртуальной реальности, медицинская реабилитация.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ:
Бофанова Н.С. — https://orcid.org/0000-0002-5455-4987
Автор, ответственный за переписку: Бофанова Наталия Сергеевна — e-mail: neurology-pgu@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Бофанова Н.С. Теория функционального разобщения нейроматрикса боли как основа концепции реабилитации пациентов с хронической болью. *Российский журнал боли*. 2024;22(4):81–85. https://doi.org/10.17116/pain20242204181

Functional uncoupling of pain neuromatrix underling rehabilitation of patients with chronic pain

© N.S. BOFANOVA

Penza State University, Penza, Russia

ABSTRACT

Objective. To analyze virtual reality technology in rehabilitation of patients with chronic pain and theoretically justify this approach for these patients.

Material and methods. We reviewed available literature in the Scopus, Web of Science and PubMed databases using the keywords «chronic pain» and «virtual reality technology». To create an original questionnaire for selecting a personal simulation scene, we surveyed 100 patients with chronic pain.

Results. According to available literature, virtual reality technology is potentially advisable in rehabilitation of patients with chronic pain. Analgesic effect is achieved through activation of antinociceptive system following immersion into simulation scene in combination with other rehabilitation methods. A theory of functional uncoupling of pain neuromatrix was proposed. The last one is based on theories of pain neuromatrix (R. Melzack, 2001) and functional systems (P.K. Anokhin, 1939). Separation of cognitive, affective and sensory components in pain neuromatrix is due to simultaneous impact of positive stimuli from all analyzers (visual, auditory, tactile, gustatory, olfactory), afferent synthesis (memory, motivation, situational afferentation, trigger afferentation) and correct coping strategy based on personal scenario of simulation environment. Finally, this leads to reduction or elimination of chronic pain.

Conclusion. Virtual reality technology is perspective in rehabilitation of patients with chronic pain. Original questionnaire for selection of individual simulation scene may be used in national clinical studies.

Keywords: *chronic pain, virtual reality technology, medical rehabilitation.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR:
Bofanova N.S. — https://orcid.org/0000-0002-5455-4987
Corresponding author: Bofanova N.S. — e-mail: neurology-pgu@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Bofanova NS. Functional uncoupling of pain neuromatrix underling rehabilitation of patients with chronic pain. *Russian Journal of Pain*. 2024;22(4):81–85. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/pain20242204181

Хроническая боль — мультидисциплинарная медико-социальная проблема, оказывающая влияние на качество жизни пациентов, их физическое и психическое здоровье. По Международной статистической классификации болезней 10-й версии классифицируется шифром R52 (R52.1 Постоянная некупирующаяся боль, R52.2 Другая постоянная боль). В Международной статистической классификации болезней 11-й версии: MG30 Хроническая боль [1, 2].

Согласно клиническим рекомендациям «Хронический болевой синдром у взрослых пациентов, нуждающихся в паллиативной медицинской помощи» (2023—2024—2025, 15.02.2023), необходимо с целью повышения качества жизни пациентов параллельно с фармакологическими методами обезболивания применять другие виды терапии боли, к которым относят физическую активность, техники релаксации, психотерапию, сочетание вышеописанных методов — мультимодальную терапию [2]. Необходим также поиск новых современных методов нефармакологической терапии хронической боли для улучшения реабилитационного процесса пациентов с хронической болью.

Технология виртуальной реальности (VR) — перспективное современное направление цифровой медицины, позволяющее создавать и погружать пациента в различные симуляторные среды, создавать новую имитационную систему [3, 4]. Выделяют иммерсивную виртуальную реальность — полное погружение в виртуальный мир с помощью специализированного оборудования (шлем или очки виртуальной реальности, иммерсивная комната виртуальной реальности). Дополненная реальность — это когда некоторые компоненты виртуального мира накладываются на окружающий мир, сгенерированная компьютером информация накладывается на предметы в реальном мире. Смешанная реальность — это форма дополненной реальности, взаимодействие с виртуальными элементами. Применение технологии виртуальной реальности в нейрореабилитации начали в конце 1990-х годов. Преимущества технологии виртуальной реальности: персональный подход и адаптация в соответствии с потребностями пациента, партисипативность, пациент мотивирован на реабилитационный процесс, возможность сочетать ее с другими методами реабилитации [4].

Цель работы — изучить вопрос применения технологии виртуальной и дополненной реальности в реабилитации пациентов с хронической болью, теоретически обосновать использование технологии виртуальной и дополненной реальности у обозначенной категории пациентов.

Материал и методы

Осуществлен поиск доступной литературы, проиндексированной в международных реферативных базах Scopus, Web of Science, PubMed, по ключевым словам: «хроническая боль», «технология виртуальной реальности». Для создания оригинального опросника по подбору персональной симуляционной сцены с применением технологии виртуальной реальности проведен опрос 100 пациентов с хронической болью.

Результаты и обсуждение

L. Goudman и соавт. (2022) опубликовали систематический обзор, где обобщили результаты применения технологии VR у пациентов с хронической болью — с общим выводом об эффективности данной технологии и перспективах ее применения в качестве дополнительной терапии у пациентов с хронической болью. Отмечался терапевтический эффект за счет функции отвлечения внимания от анализа боли посредством иммерсивного свойства симуляторной среды, охватывающей обработку зрительных и слуховых стимулов. Также ряд исследователей указывали, что, помимо отвлечения внимания, являющегося основным анальгетическим эффектом VR, длительное использование VR вызывает нейропластические изменения в сенсорных и моторных областях головного мозга [4, 5]. Опубликованы работы, где технологию VR используют совместно с терапией осознанности или методами релаксации для потенцирования эффекта. Кроме того, виртуальная реальность использовалась для отработки физических упражнений (участники могли кататься на велосипеде в виртуальной среде, практиковать упражнения для различных групп мышц). Новые возможности иммерсивной виртуальной реальности — просмотр иллюзии пораженной части тела через аватар [4—6].

Остается вопрос, по какому принципу подбираются виртуальные сцены для пациентов с хронической болью, учитывая многообразие хронического болевого синдрома, подчеркнутое в новой Международной классификации болезней (11-й версии). Необходимо теоретическое обоснование выбора виртуальной симуляторной среды для пациента с различными хроническими болевыми синдромами. Согласно теории нейроматрикса (R. Melzack, 2001), анатомическую основу нейроматрикса боли составляет распространенная сеть нейронов, которая образуется между корой головного мозга, таламусом и лимбической системой. Первоначально она генетически детерминирована, но за-

тем подвержена изменениям под воздействием новых сенсорных стимулов. Согласно данной теории, четыре компонента образуют новую концепцию: нейроматрица «тело — я»; нейросигнатура — характерная картина как результат циклической обработки и синтеза нервных импульсов через нейроматрикс; нейронный узел — проекция в определенной зоне головного мозга, преобразующая нейросигнатуру в осознание; активация нейроматрицы, обеспечивающая шаблон действий для достижения результата. Согласно данной теории, ведущими факторами, оказывающими влияние на нейроматрикс боли, являются сенсорный, аффективный и когнитивный. Также обозначаются генетическая детерминанта и нервно-гуморальные механизмы, которые оказывают значительное влияние. R. Melzack в своей статье подчеркивает, что данная концепция может расширить представления о терапии боли и привести к пониманию новых исследовательских стратегий для пациентов с хронической болью [7, 8]. Согласно теории функциональных систем П.К. Анохина, функциональная система — динамически складывающаяся система из разнородных физиологических образований, все части которой содействуют получению определенного полезного результата. Опережающее значение результата на основе имеющегося положительного опыта и правильная модель будущего, создаваемая головным мозгом, позволяют объединять реакции на внешние стимулы для единого целеполагания [9].

На основе вышеобозначенных концепций предлагается теория функционального разобщения нейроматрикса боли посредством погружения пациента с хронической болью в персональную симуляторную среду с использованием технологии VR и дополненной реальности для разобщения когнитивного, аффективного, сенсорного компонентов в нейроматриксе боли. Данный результат достига-

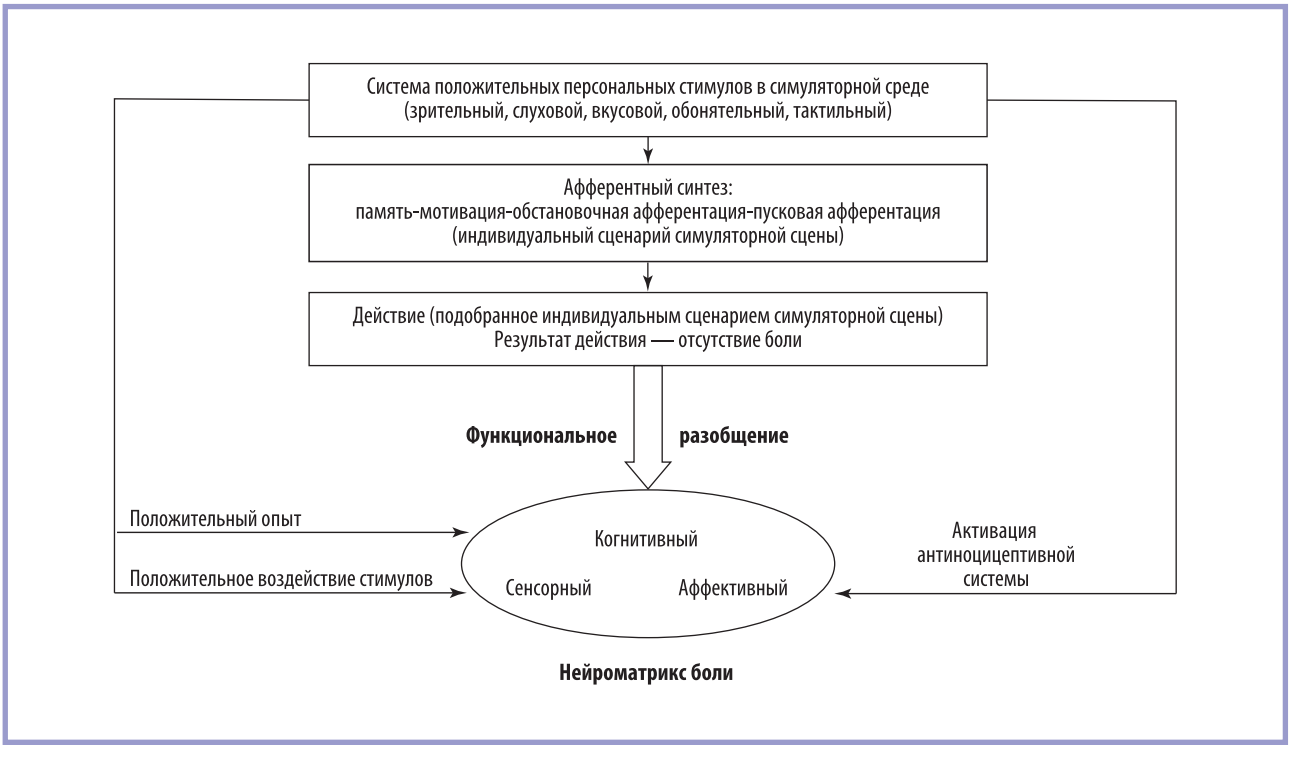
Опросник для определения персональной симуляторной среды у пациентов с хронической болью (Н.С. Бофанова, 2024)
Questionnaire for determining the personal simulation environment for patients with chronic pain (N.S. Bofanova, 2024)

Выберите и подчеркните варианты наиболее для Вас подходящих положительных стимулов (внешней информации) или укажите свой вариант

Стимул	Описание
Зрительный	Огонь, вода, воздух, земля Дом, замок, палатка, пещера Море, горы, лес, пляж Парк аттракционов, цирк, театр, зоопарк Автомобиль, поезд, самолет, диван Космос, подземелье, подводный мир, город будущего _____ (свой вариант)
Слуховой	Громкий, тихий, медленный, быстрый _____ (свой вариант)
Осязательный	Мягкий, твердый, теплый, холодный _____ (свой вариант)
Обонятельный	Фруктовый, цветочный, пряный, древесный _____ (свой вариант)
Вкусовой	Сладкий, кислый, горький, соленый, острый _____ (свой вариант)

Какой вид отдыха вы предпочитаете?
Физический, ментальный (умственный)
Эмоциональный, духовный, творческий
_____ (свой вариант)

Какое событие в жизни вызвало у Вас самые положительные эмоции? (Опишите в 4—5 словах) _____
_____



Теория функционального разобщения нейроматрикса боли (схема).
Theory of functional uncoupling of pain neuromatrix (scheme).

ется за счет единовременного воздействия положительных стимулов всех анализаторов (зрительного, слухового, осязательного, вкусового, обонятельного), афферентного синтеза (память, мотивация, обстановочная афферентация, пусковая афферентация), правильной копинг-стратегии с помощью персонального сценария симуляторной среды, которая создается посредством технологии VR и дополненной реальности, приводя к общему результату — снижению или устранению хронической боли. Таким образом, функциональное разобщение нейроматрикса боли предполагается с помощью технологии VR, где симуляционная сцена с индивидуальным сценарием будет активизировать функциональную систему организма за счет воздействия положительных внешних стимулов и положительного опыта, задействуя всю систему анализаторов, оказывая воздействие на когнитивный, аффективный и сенсорный компоненты нейроматрикса боли **(см. рисунок)**.

С целью идентификации персональной симуляторной среды проведен опрос 100 пациентов с хронической болью. Определены наиболее положительные «внешние стимулы» для больных, которые задействуют все системы анализаторов: зрительный, слуховой, вкусовой, обонятельный, осязательный. Наиболее частые ответы пациентов с хронической болью обобщены в виде опросника для определения персональной симуляторной среды для пациентов с хронической болью **(см. таблицу)**.

Опросник был предложен пациенту 40 лет с диагнозом хронической головной боли напряжения. Согласно результатам проведенного опроса, он обозначил следующие положительные стимулы: зрительный (вода, дом, море, диван), слуховой (тихий, медленный), осязательный (мягкий, теплый), обонятельный (фруктовый), вкусовой (сладкий), вид отдыха — ментальный (умственный), духовный, лучший отдых — поездка на море с семьей.

По опроснику персональной симуляторной среды для него был разработан один из возможных сценариев симуляционной сцены — «Морской остров» с учетом вовлечения всех анализаторов (зрительного, слухового, обонятельного, вкусового, осязательного). Экспозиция в VR-среде на берегу пляжа с видом на море, рядом располагаются пальмы с кокосами, вдали горный пейзаж. Пользователь качается в гамаке, в руках кокос. Сцена позволяет сконцентрировать свое внимание на следующих аффективных стимулах: зрительном — вид на море, пальмы, горный пейзаж; слуховом — шум прибоя; осязательном — качание в гамаке, структура кокоса в руках; обонятельном — запах морского воздуха; вкусовом — кокосовое молоко.

Предполагается с помощью ежедневной экспозиции в индивидуально подобранной симуляционной виртуальной среде достигнуть появления у пациента способности «отсоединять» восходящие, афферентные, сенсорные компоненты боли от эфферентных, психологических компонентов боли. Сформируется устойчивое внимание к появлению новых «положительных» сенсорных и когнитивных событий в виртуальной среде, и, как следствие, произойдет ослабление реакций на хроническую боль. Также задача персонально подобранной виртуальной сцены заключается в активации антиноцицептивной системы для высвобождения эндорфинов и энкефалинов, обладающих морфиноподобным действием, рецепторы к которым находятся в различных отделах центральной нервной системы, на основе положительного жизненного опыта пациента, который у всех индивидуален.

Предложенный пациенту сценарий был утвержден, мужчина выразил желание оказаться в такой симуляторной среде при возникновении головной боли, а также с целью профилактики ее появления.

Приоритетное направление в дальнейших исследованиях — оценка состояния пациента в среде VR и дополненной реальности, решение вопроса о безопасности нахождения в симуляторной среде, предупреждение формирования симуляторного расстройства (боль в эпигастральной области, потоотделение, тошнота, головная боль, головокружение). Требуется детальная оценка состояния пациента при погружении в среду VR и дополненной реальности, разработка мер по профилактике симуляторного расстройства [10]. Необходимо проведение отечественных клинических исследований для увеличения эффективности реабилитационных мероприятий у пациентов с хронической болью, учитывая меры профилактики формирования симуляторного расстройства. Пациенты с фантомной болью — первоочередная группа для клинических исследований в связи с актуальностью вопроса вследствие получения травм в локальных военных конфликтах. Доступные публикации (их пока небольшое количество) о практическом применении технологии VR у пациентов с фантомной болью показывают ее эффективность при проведении медицинской реабилитации; прогнозируется положительный эффект от совместного применения технологии VR и дополненной реальности у вышеобозначенной категории пациентов [11—14].

Заключение

Технология виртуальной реальности — перспективное направление в реабилитации пациентов с хронической болью. Анальгетический эффект обусловлен повышенной активацией областей головного мозга, участвующих в когнитивной и эмоциональной оценке боли, при погружении в индивидуально разработанную благоприятную симуляторную среду. Активация собственной антиноцицептивной системы приводит к высвобождению обладающих морфиноподобным действием эндорфинов и энкефалинов, рецепторы к которым находятся в различных отделах центральной нервной системы. Разработанный опросник для подбора индивидуальной симуляторной сцены можно использовать при проведении отечественных клинических исследований.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Aziz Q, Giamberardino MA, Barke A, Korwisi B, Rief W, Treede RD. The IASP Taskforce for the Classification of Chronic pain. The IASP Classification of Chronic pain for ICD-11: chronic secondary visceral pain. *PAIN*. 2019;160:69-76.
2. *Хронический болевой синдром (ХБС) у взрослых пациентов, нуждающихся в паллиативной медицинской помощи. Клинические рекомендации*. 2023—2024—2025 (15.02.2023). Утверждены Минздравом России.
Khronicheskij bolevoj sindrom u vzroslykh patsientov, nuzhdayushchikhsya v palliativnoj meditsinskoj pomoshchi. Klinicheskie rekomendatsii. 2023—2024—2025 (15.02.2023). Utverzhdeny Minzdravom Rossii. (In Russ.).
https://disuria.ru/_ld/13/1314_kr23R52Z51MZ.pdf?ysclid= luvkcto2pp461772740
3. Тычков А.Ю., Чернышов Д.С., Чураков П.П., Юлдашев З.М., Бофанова Н.С., Алимурадов А.К., Горбунов В.Н., Золотарев Р.В., Никитин М.С. Поиск закономерностей на ЭЭС при симуляции тревожно-фобической ситуации в среде виртуальной реальности. *Информационно-управляющие системы*. 2022;4:58-67.
Tychkov AYu, Chernyshov DS, Churakov PP, Yuldashev ZM, Bofanova NS, Alimuradov AK, Gorbunov VN, Zolotarev RV, Nikitin MS. Search for EEG signal patterns in simulating phobic anxiety disorder situations in a VR environment. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*. 2022;4:58-67. (In Russ.).
https://doi.org/10.31799/1684-8853-2022-4-58-67
4. Howard MC. A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Computers in Human Behavior*. 2017;70:317-327.
https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.013
5. Goudman L, Jansen J, Billot M, Vets N, Smedt A, Rouland M, Rigoard P. Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games*. 2022;10(2):e34402.
https://doi.org/10.2196/34402
6. Darnall BD, Krishnamurthy P, Tsuei J, Minor JD. Self-administered skills-based virtual reality intervention for chronic pain: A randomized con- trolled pilot study. *JMIR Formative Research*. 2020;4(7):e17293-e17293.
https://doi.org/10.2196/17293
7. Melzack R. *Pain and stress: a new perspective*. In: Gatchel RJ, Turk DC, eds. Psychosocial factors in pain. New York: Guilford Press; 1999;89-106.
8. Melzack R. Pain and the neuromatrix in the brain. *Journal of Dental Education*. 2001;65(12):1378-1382.
9. Анохин П.К. *Избранные труды: кибернетика функциональных систем*. Под ред. Судакова К.В. М.: Медицина; 1998;400.
Anokhin PK. *Izbrannye trudy: kibernetika funktsional'nykh system*. Sudakov KV, ed. M.: Meditsina; 1998;400. (In Russ.).
10. Ковалев А.И., Меньшикова Г.Я. Векция в виртуальных средах: психологические и психофизиологические механизмы формирования. *Национальный психологический журнал*. 2015;4(20):91-104.
Kovalev AI, Menshikova GYa. Vection in virtual environments: psychological and psychophysiological mechanisms. *National Psychological Journal*. 2015;4(20):91-104. (In Russ.).
11. Бофанова Н.С., Тычков А.Ю., Дятлов А.В., Чернышов Д.С., Назарычев А.П. Технология виртуальной реальности как перспективное направление в терапии послеоперационной и посттравматической боли. *Российский журнал боли*. 2022;20(2):68-72.
Bofanova NS, Tychkov AYu, Dyatlov AV, Chernyshov DS, Nazarychev AP. Virtual reality technology as a promising direction in the treatment of postoperative and posttraumatic pain. *Russian Journal of Pain*. 2022;20(2):68-72. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/pain20222002168
12. Бофанова Н.С. Применение стабилометрического метода в диагностике двигательных нарушений и реабилитации пациентов с последствиями черепно-мозговой травмы. *Вестник новых медицинских технологий*. 2013;1:118.
Bofanova N.S. Application of the stabilometric method in the diagnosis of movement disorders and rehabilitation of patients with consequences of traumatic brain injury. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologij*. 2013;1:118. (In Russ.).
13. Бофанова Н.С., Ермолаева А.И. Клинико-функциональные особенности и лечение последствий легкой черепно-мозговой травмы различной этиологии. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*. 2014;1(29):37-45.
Bofanova NS, Ermolaeva AI. Clinical and functional features and treatment of the consequences of mild traumatic brain injury of various etiologies. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Meditsinskie nauki*. 2014;1(29):37-45. (In Russ.).
14. Dunn J, Yeo E, Moghaddampour P, Chau B, Humbert S. Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: a literature review. *NeuroRehabilitation*. 2017;40(4):595-601.
https://doi.org/10.3233/NRE-171447

Поступила 17.04.2024
Received 17.04.2024
Принята к печати 10.07.2024
Accepted 10.07.2024