



<https://doi.org/10.34883/PI.2023.13.4.039>  
УДК 616.831-005-036-004-946



Марьенко И.П.✉, Лихачев С.А., Крамаренко А.Н.  
Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,  
Минск, Беларусь

## Влияние виртуальной реальности на глазодвигательные реакции у пациентов с инфарктом мозга и внутримозговым кровоизлиянием

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Вклад авторов:** Марьенко И.П. – идея и концепция исследования, анализ и интерпретация результатов, формулировка выводов; Лихачев С.А. – идея и концепция исследования, формулирование выводов, редактирование; Крамаренко А.Н. – обзор литературы, формирование базы данных пациентов, анализ полученных данных, статистическая обработка результатов.

Подана: 20.11.2023  
Принята: 11.12.2023  
Контакты: iramaryenko@gmail.com

### Резюме

**Введение.** Медицинская реабилитация пациентов с инфарктом мозга (ИМ) и внутримозговым кровоизлиянием (ВМК) с использованием среды виртуальной реальности (ВР) является перспективным направлением в восстановлении глазодвигательных нарушений. Общность патофизиологических механизмов нарушения глазодвигательных реакций и развития других двигательных дефицитов позволяет применять анализ глазодвигательной функции как неинвазивный метод оценки состояния пациентов в динамике.

**Цель.** Изучить влияние мультиафферентного воздействия среды ВР на показатели глазодвигательных реакций у пациентов с ИМ и ВМК.

**Материалы и методы.** Оптикинетический нистагм (ОКН) регистрировали у 15 пациентов методом электронистагмографии до и после тренировок в среде ВР.

**Результаты.** Установлено уменьшение величины и асимметрии амплитуды медленной фазы (Ам), амплитуды быстрой фазы (Аб), скорости медленной фазы (СМФ) и скорости быстрой фазы (СБФ) горизонтального ОКН после тренировок в среде виртуальной реальности.

**Заключение.** Полученные результаты могут указывать на тенденцию к нормализации ритма ОКН.

**Ключевые слова:** инфаркт мозга, внутримозговое кровоизлияние, виртуальная реальность, реабилитация, оптикинетический нистагм, электронистагмография

Maryenko I.✉, Likhachev S., Kramarenko A.

Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Belarus

## The Virtual Reality Influence on the Eye Movement in Patients with Cerebral Infarction and Intracerebral Hemorrhage

**Conflict of interest:** nothing to declare.

**Authors' contribution:** Maryenko I. – formation of the purpose and design of the study, analytical interpretation of the results, formulation of conclusions; Likhachev S. – formation of the purpose and design of the study, formulation of conclusions, editing; Kramarenko A. – review of the literature, collection of primary material, statistical analysis, processing of results.

Submitted: 20.11.2023

Accepted: 11.12.2023

Contacts: iramaryenko@gmail.com

---

### Abstract

**Introduction.** Medical rehabilitation of patients with cerebral infarction (MI) and intracerebral hemorrhage (ICH) using a virtual reality (VR) environment is a promising direction in the restoration of oculomotor disorders. Pathophysiological mechanism of oculomotor phenomena and other motor disorders pathophysiological mechanism similarity make it possible to use the analysis of oculomotor functions as a non-invasive method for assessing patient dynamics.

**Purpose.** We aimed to study the influence of multifferent influence of the VR environment on indicators of oculomotor reactions in patients with MI and ICH.

**Materials and methods.** Optokinetic nystagmus (OKN) was recorded in 15 patients using electronystagmography before and after training in a VR environment.

**Results.** A decrease in the magnitude and asymmetry of horizontal OKN eye movement features after training in a virtual reality environment was established.

**Conclusion.** It may show a tendency towards normalization of the OKN rhythm.

**Keywords:** cerebral infarction, intracerebral hemorrhage, virtual reality, rehabilitation, optokinetic nystagmus, electronystagmography

---

### ■ ВВЕДЕНИЕ

Понимание структурных особенностей нейронных связей, отвечающих за совместное движение обоих глазных яблок, за последние десятилетия вышло на новый уровень и стало более детализированным [1]. Запуск и контроль согласованных движений правого и левого глаза требуют участия коры головного мозга, базальных ганглиев, мозжечка и ствола мозга. Комплекс сигналов от этой сложной системы нейронных связей концентрируется на мотонейронах ствола мозга. Нарушение кровоснабжения в любой из упомянутых областей может проявляться изменением глазодвигательных реакций [2, 3].

Общность патофизиологических механизмов нарушения глазодвигательных реакций и развития других двигательных дефицитов позволяет использовать анализ показателей глазодвигательной функции как один из неинвазивных способов оценки состояния пациентов в динамике [1, 4–6].



Особый интерес данная опция представляет в работе с пациентами с инсультами, нейродегенеративными и демиелинизирующими заболеваниями (рассеянный склероз, прогрессирующий надъядерный паралич, кортикобазальный синдром и др.) [1, 7].

Однако к настоящему времени сохраняется дефицит доказательных данных об особенностях и динамике глазодвигательных реакций у пациентов с инсультом [4]. Поэтому изучение особенностей глазодвигательной функции и ее динамики на фоне реабилитационных тренировок является актуальной проблемой [7].

Реабилитация пациентов с инфарктом мозга (ИМ) и внутримозговым кровоизлиянием (ВМК) требует повторяющихся, интенсивных и целенаправленных мероприятий. В основе возникновения нарушений равновесия и устойчивости у пациентов с ИМ и ВМК лежат разные механизмы. Так, у пациентов с постинсультными гемипарезами причину нарушения равновесия и неустойчивости как при стоянии, так и при ходьбе объясняют асимметрией вертикальной позы (ВП), вызванной смещением центра давления тела в сторону здоровой ноги. Эта асимметрия ВП может быть связана со степенью пареза и быть обусловлена уменьшением сенсорной информации от паретичной конечности, корковыми нарушениями восприятия сенсорной информации, приводящими к неадекватному восприятию пациентом положения своего тела в пространстве. Тренировки в среде виртуальной реальности (VR) потенциально могут удовлетворить все эти требования. Игровой формат тренировок способствует большей вовлеченности пациента в процесс и повышает мотивацию для выполнения заданий. На фоне возрастающего использования VR в нейрореабилитации пациентов с ИМ и ВМК остается актуальным вопрос разработки объективных критериев оценки эффективности реабилитации на разных этапах [8].

Нарушения глазодвигательной функции встречаются более чем у 70% пациентов с ИМ и ВМК [4]. Причем не всегда данные проявления заметны в ходе рутинного неврологического и офтальмологического осмотра. Некоторые из глазодвигательных нарушений обнаружить и оценить можно только с помощью специальных методов исследования, таких как электронистагмография и видеоокулография [5, 6]. Например, в остром периоде ИМ или ВМК в 33% случаев нарушается оптокинетический нистагм (ОКН) в направлении стороны, противоположной очагу в полушарии мозга. Таким образом, одностороннее нарушение ОКН может рассматриваться как латерализационный симптом [9].

ОКН – это физиологическое рефлекторное движение глаз, которое провоцируется перемещением зрительного стимула в поле зрения и имеет две фазы: плавную медленную (по направлению движения стимула) и саккадическую быструю (корректирующее движение в обратном направлении) [10–12]. ОКН призван поддерживать стабильную фиксацию зрительного стимула центральными областями сетчатки, чтобы избежать нечеткости и двоения при наблюдении за движущимся объектом [3, 11, 22].

Горизонтальный ОКН изучен более детально, чем вертикальный. По данным исследований, горизонтальный ОКН является симметричным у здоровых пациентов [13].

При этом данные о симметричности вертикального ОКН у здоровых людей носят противоречивый характер, что может быть обусловлено различными подходами к инструктированию пациентов при выполнении электронистагмографии разными

специалистами. Интерес представляют данные Dieterich et al. (1998), где с помощью магнитно-резонансной томографии продемонстрирована активация схожих паттернов в головном мозге как при горизонтальном, так и при вертикальном ОКН с заметным преобладанием правого полушария [14].

Нарушения ОКН проявляются в виде изменения направления нистагма (инверсии), а также ослабления, выпадения и дизритмии нистагма. На выраженность нарушений ОКН влияет близость расположения патологического очага к вестибулоглазодвигательным путям и вестибулярным ядрам [15–19].

Разработка критериев оценки медицинской реабилитации на основе анализа комплекса данных ОКН представляет большой научный интерес и требует дальнейшего изучения.

## ■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить влияние мультиафферентного воздействия среды ВР на динамику показателей глазодвигательных реакций у пациентов с ИМ и ВМК.

## ■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проводилась фиксация глазодвигательных реакций у 15 пациентов с ИМ и ВМК, координаторными нарушениями методом электронистагмографии. Все пациенты из группы проходили курс из 6–8 регулярных тренировок в среде ВР, основанный на произвольном перемещении пациентом объекта в виртуальной среде [20, 21].

Для исследования глазодвигательной функции использовался электронистагмограф (АПК Статокин, Россия). Для количественной оценки параметров ОКН – программное обеспечение «Статокин». Анализ результатов оценки ОКН проводился с помощью программы Statistica 10,0 (StatSoft, США).

Регистрацию ОКН проводили с одной и той же частотой оптокинетической стимуляции перед началом тренировок и после их завершения. Все показатели ОКН регистрировали отдельно для правого и левого глаза.

Оценивались основные характеристики ОКН: амплитуда медленной фазы (Ам), амплитуда быстрой фазы (Аб), скорость медленной фазы (СМФ), скорость быстрой фазы (СБФ) до и после проведения реабилитационных тренировок с погружением в среду ВР.

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

СМФ ОКН до начала тренировок составила в среднем  $9,85 \pm 4,7$  °/с для правого и  $15,25 \pm 1,7$  °/с для левого глаза ( $p=0,067$ ). После прохождения курса тренировок СМФ ОКН составила  $7,7 \pm 3,5$  °/с и  $8,8 \pm 4,4$  °/с для правого и левого глаз соответственно ( $p=0,28$ ).

СБФ горизонтального ОКН до тренировок составила  $44,22 \pm 30,6$  °/с для правого глаза и  $53,15 \pm 36,5$  °/с для левого ( $p=0,46$ ). После завершения тренировок средний показатель СБФ ОКН составил  $46,5 \pm 20,3$  °/с для правого и  $41,8 \pm 24,9$  °/с для левого глаза ( $p=0,79$ ).

Ам горизонтального ОКН до тренировок составила  $2,68 \pm 2,26$  ° для правого и  $5,07 \pm 1,8$  ° для левого глаза ( $p=0,27$ ). По завершении тренировок Ам –  $3,25 \pm 1,4$  ° для правого,  $3,57 \pm 1,8$  ° для левого глаза ( $p=0,38$ ).



Аб горизонтального ОКН до тренировок была  $5,04 \pm 2,6^\circ$  для правого и  $6,32 \pm 1,3^\circ$  для левого глаза ( $p=0,46$ ), после тренировок –  $3,45 \pm 1,7^\circ$  для правого и  $3,8 \pm 1,8^\circ$  для левого глаза ( $p=0,64$ ).

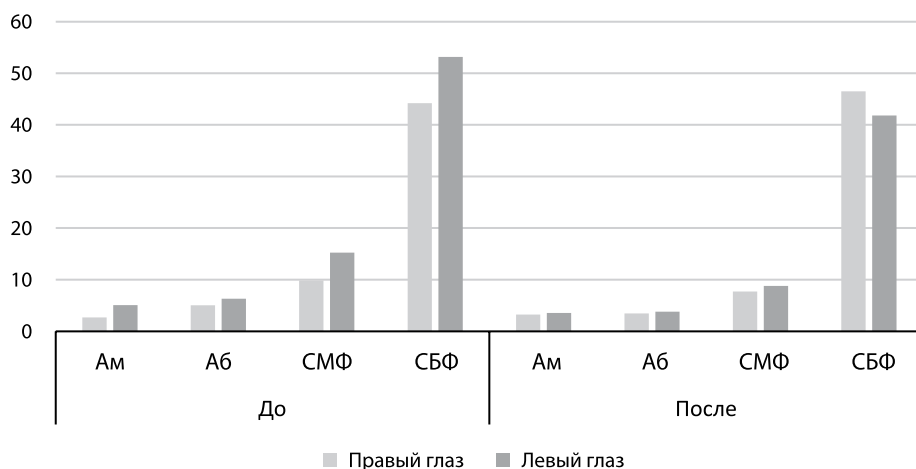
Полученные данные демонстрируют тенденцию к преимущественному уменьшению скорости и амплитуды быстрой и медленной фаз горизонтального ОКН после реабилитационных тренировок (рис. 1).

Были рассчитаны коэффициенты асимметрии (КА, %) глазодвигательных реакций для горизонтального ОКН до и после тренировок. КА рассчитывался как отношение разности показателей разнонаправленных реакций (пример: Ам OD – Ам OS) к их сумме (пример: Ам OD + Ам OS).

Для горизонтального ОКН выявлено заметное уменьшение КА глазодвигательных реакций для всех показателей ОКН: Ам и Аб, СМФ, СБФ после проведения курса тренировок в ВР ( $p=0,06$ ). Так, до тренировок КА Ам составил 31%, в то время как после тренировок – 5%,  $p<0,05$ . КА Аб составил до тренировок 11%, после тренировок – 5%. КА СМФ до тренировок составил 22%, после тренировок – 7%,  $p<0,05$ . КА СБФ также снизился с 9% до тренировок до 5% после тренировок (рис. 2).

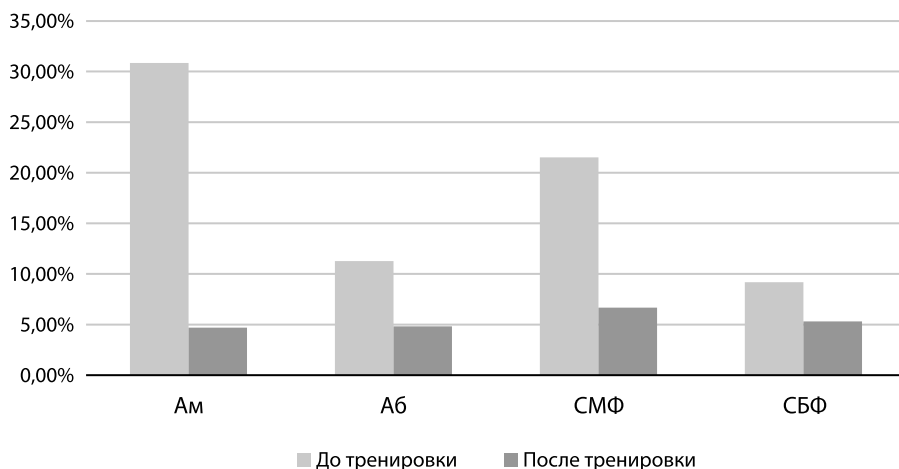
Выявленное уменьшение КА после тренировок по всем показателям горизонтального ОКН может указывать на улучшение качества и согласованности глазодвигательных реакций у пациентов с ИМ и ВМК после регулярных тренировок в среде ВР.

Вертикальный ОКН до начала тренировок был зарегистрирован только у 2 из 15 пациентов. В то время как после завершения тренировок вертикальный ОКН выявлялся достоверно чаще – уже у 7 из 15 пациентов ( $\chi^2=3,97$ ,  $p=0,046$ ).



**Рис. 1. Динамика показателей горизонтального ОКН до и после тренировок в среде виртуальной реальности**

**Fig. 1. Horizontal OKN indicators dynamics before and after training in a virtual reality environment**



**Рис. 2. Динамика показателей коэффициента асимметрии глазодвигательных реакций для горизонтального ОКН до и после тренировок**  
**Fig. 2. The asymmetry coefficient of oculomotor reactions for horizontal OKN dynamics (before and after training)**

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамические изменения показателей горизонтального ОКН в период от начала тренировок в ВР до их завершения были зафиксированы для всех исследуемых параметров ОКН. При этом тренировки в среде ВР достоверно повлияли на восстановление вертикального ОКН у пациентов с ИМ и ВМК. Выявленное уменьшение величины и асимметрии Ам, Аб, СМФ и СБФ горизонтального ОКН после тренировок в среде ВР может указывать на тенденцию к нормализации ритма ОКН.

Полученные в ходе исследования результаты указывают на положительное влияние медицинской реабилитации с использованием тренировок в среде ВР на формирование функциональных связей в головном мозге и улучшение взаимодействия между разными областями головного мозга через ассоциативные и проекционные пути.

Тренировки в среде ВР продемонстрировали хороший восстановительный потенциал для моторных глазодвигательных функций у пациентов с ИМ и ВМК, который находит отражение в динамике показателей ОКН. А анализ данных ОКН с регистрацией методом электронистагмографии у пациентов с ИМ и ВМК может лечь в основу объективной оценки эффективности реабилитационных тренировок у пациентов с ИМ и ВМК благодаря неинвазивности и информативности метода. Использование ВР дает возможность пациенту с ИМ и ВМК получить и закрепить опыт, идентичный реальному, и потом быстрее и эффективнее вернуться к обычной жизни и профессиональной активности.



## ■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kassavetis P., Kaski D., Anderson T. et al. Eye Movement Disorders in Movement Disorders. *Mov Disord Clin Pract.* 2022;9(3):284–295. doi: 10.1002/mdc3.13413
2. Kubarko A.I., Likhachev S.A., Kubarko N.P. *Vision (neurophysiological and neuro-ophthalmological aspects). T. 2: Neuronal mechanisms of control of the installation and movement of the eyes and their disorders in diseases of the nervous system.* Minsk: BSMU, 2009. (In Russian)
3. Moncayo J., Bogousslavsky J. Eye movement abnormalities. *Front Neural Neurosci.* 2012;30:13–6. doi: 10.1159/000333375.
4. Ciuffreda K.J., Kapoor N., Rutner D., et al. Occurrence of oculomotor dysfunctions in acquired brain injury: a retrospective analysis. *Optometry.* 2007;78(4):155–161.
5. Robinson D.A. The behavior of the optokinetic system. *Prog Brain Res.* 2022;267(1):215–230. doi: 10.1016/bs.pbr.2021.10.010.
6. Jung R., Kornhuber H.H. Results of electronystagmography in man: the value of optokinetic, vestibular and spontaneous nystagmus for neurologic diagnosis and research. *The Oculomotor System: New York.* 1978; 455–456.
7. Pollock A., Hazelton C., Henderson C.A., et al. Interventions for disorders of eye movement in patients with stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011;10:CD008389 doi: 10.1002/14651858.CD008389.pub2.
8. Choi Y. H., Paik N. J. Mobile Game-based Virtual Reality Program for Upper Extremity Stroke Rehabilitation. *J Vis Exp.* 2018;133:56241. doi: 10.3791/56241.
9. Blagoveshchenskaya N.S. *Otoneurological symptoms i syndromes.* M.: Meditsina, 1981; 327 p. (In Russian)
10. Garbutt S., Han Y., et al. Vertical optokinetic nystagmus and saccades in normal human subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44:3833–3841. doi: 10.1167/iovs.03-0066.
11. Tarnutzer A.A., Straumann D. Nystagmus. *Curr Opin Neurol.* 2018;31(1):74–80. doi: 10.1097/WCO.0000000000000517.
12. Apaev A.V. Nystagmus: prevalence, classification, pathogenesis. *Russian Pediatric Ophthalmology.* 2021;16(2):53–60. (In Russian)
13. Garbutt S., Harris C.M. A review of optokinetic nystagmus (OKN) in infants and children. *Br Orthopt J.* 1999;56:1–10.
14. Dieterich M., Bucher S.F., Seelos K.C. et al. Horizontal or vertical optokinetic stimulation activates visual motion-sensitive, ocular motor and vestibular cortex areas with right hemispheric dominance. An fMRI study. *Brain.* 1998;121(Pt8):1479–1495. doi: 10.1093/brain/121.8.1479.
15. Sklyut I.A., Tsemakhov S.G. *Nistagmus.* Minsk: Vysheishaya shkola, 1990; 239 p. (In Russian)
16. Sklyut I.A., Likhachev S.A., Dukor D.M. Modern ideas about the clinical significance of optokinetic nystagmus. *Neurol. J.* 2001;6(5):41–45. (In Russian)
17. Baier B., Stoeter P., Dieterich M. Anatomical correlates of ocular motor deficits in cerebellar lesions. *Brain.* 2009;132(Pt 8):2114–2124. doi: 10.1093/brain/awp165.
18. Rivaud S., Muri R.M., Gaymard B., et al. Eye movement disorders after frontal eye field lesions in humans. *Exp Brain Res.* 1994;102:110–120. doi: 10.1007/BF00232443.
19. Baloh R.W., Yee R.D., Honrubia V. Optokinetic nystagmus and parietal lobe lesions. *Ann Neurol.* 1980;7(3):269–276. doi: 10.1002/ana.410070311.
20. Yurchenko M.V., Susha N.A., Mar'enko I.P., Mozheiko M.P., Ivanitskii E.S., Kachanovskii A.V. VRHealth – method of balance rehabilitation through the use of moving the projection of the torso in a virtual environment: certificate of a computer program registration No. 1086; 2018. Register of computer programs, Intellectual property center of the Republic of Belarus. Available at: <http://search.ncip.by/depon/index.php?pref=1&lng=r&u&page=3&target=1332> (accessed 22 October 2023) (In Russian)
21. Levin O.S., Bogolepova A.N. Poststroke motor and cognitive impairments: clinical features and current approaches to rehabilitation. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova.* 2020;120(11):99–107. (In Russian). <https://doi.org/10.17116/jnevro20201201199>.
22. Basso Moro S., Bisconti S., et al. A semiimmersive virtual reality incremental swing balance task activates prefrontal cortex: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage.* 2014;85:451–460. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.031>.