

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ И УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ МОТОРНЫХ ФУНКЦИЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

<sup>1</sup>Цулейскири Е.Г.

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье приведен анализ научных трудов по разработке, экспериментальным исследованиям и внедрению в повседневную медицинскую практику инвазивных и неинвазивных нейроинтерфейсов с целью нейрореабилитации пациентов с полной или частичной утратой двигательной активности, вызванной поражением нервной системы различного генеза. Проведена оценка значимости использования нейрокомпьютерных интерфейсов для повышения качества жизни пациентов и их интеграции в общество.

**Ключевые слова.** Нейроинтерфейс, нейрореабилитация, экзоскелет, моторная кора.

## MILL APPLICATION OF NEURO-COMPUTER INTERFACES TO REHABILITATION AND IMPROVING LIVING CONDITIONS OF PEOPLE WITH MOTOR BREAKDOWN OF THE NERVOUS SYSTEM

<sup>1</sup>Tsuleiskiri E.G.

<sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** Scientific papers analysis concerning development is given in the article, experimental research and implementation of invasive and non-invasive neurointerfaces with the purpose of neurorehabilitation of patients with complete or partial loss of motor activity caused by damage to the nervous system of various origins. The significance of the use of neurocomputer interfaces for improving the quality of life of patients and their integration into society was assessed.

**Keywords.** Neurointerface, neurorehabilitation, exoskeleton, motor cortex.

**Введение.** Компьютерный нейроинтерфейс – это система, регистрирующая активность колебаний с поверхности коры больших полушарий или других анатомических структур нервной системы, усиливающая получаемые сигналы, производящая удаление артефактов и оцифровку (перевод в другую форму исчисления) выявившихся характерных признаков сигнала, на основании которых строится классификация и распознавание типов мыслительной деятельности [1].

Классификация нейроинтерфейсов по физиологической функции определяет различные виды устройств: сенсорные, моторные, двунаправленные, когнитивные и включающие нескольких пользователей [18]. Одной из наиболее значимых проблем при поражении нервной системы является утрата чувствительности и двигательных функций. Для их решения разрабатываются моторные нейроинтерфейсы, обеспечивающие декодирование движений конечностей [3] и сенсорные, которые передают чувствительное восприятие сигналов в соматосенсорную кору [1]. Возможность создания устройств, предназначенных для осуществления движений при помощи экзоскелетов, электрических колясок и т.п., а также для воссоздания чувствительных ощущений, помогает парализованным пациентам вести более самостоятельную и разнообразную жизнь.

Существуют различные варианты считывания активности головного мозга. В нейрореабилитации чаще всего применяется неинвазивный метод ЭЭГ и инвазивные нейроинтерфейсы. Электроэнцефалография не требует вживления электродов, что является неоспоримым плюсом при массовом применении на людях. Минусом является считывание общего потенциала с большой площади коры больших полушарий, а при усложнении устройства ЭЭГ, захват подкорковых структур и электромиография мышц головы, что приводит к низкой эффективности декодирования. Несмотря на это, распознающий ЭЭГ-паттерны нейроинтерфейс способен определять в режиме реального времени желание оператора и осуществлять программы для реализации поставленной задачи. Парализованные люди, лишённые возможности коммуникации с окружающим миром, благодаря появлению экранных контрольных интерфейсов, получили возможность буквально силой мысли, за счет усиления общего возбуждения, считываемого ЭЭГ, набирать текст. В России для решения этой проблемы разработан «Нейро-чат» [5]. Для контроля психического состояния человека

разработан АПК «Нейрокурс», который показывает в режиме реального времени данные ЭЭГ, электрокардиографии, ЧДД и электромиографии. Прибор показывает уровень концентрации внимания и психоэмоциональной релаксации, позволяя пациенту обучаться контролю этих состояний [6].

Более сложное декодирование, базирующееся на выявлении взаимосвязи появления потенциалов действия в определенной зоне двигательной предцентральной извилины, позволяет пациенту управлять курсором монитора [5]. Возможность управления монитором и набора текста помогает людям с двигательными ограничениями не только коммуницировать, но и работать по многим специальностям. До появления нейроинтерфейсов это считалось невозможным.

Метод ЭЭГ позволяет предсказывать эпилептические припадки. Но сложность постоянного ношения неинвазивного интерфейса ограничивает применение в клинической практике. Инвазивные интерфейсы более точны в считывании биопотенциалов при записи с отдельных нейронов не только коры головного мозга, но и нижележащих структур. Основной проблемой их использования являются этические законы, разрешающие вживление человеку столь сложных имплантатов только по медицинским показателям, а также проблемы биосовместимости. Исследования по предсказанию эпилептических припадков у крыс при помощи многоканального ЭЭГ [7] позволило создать инвазивное устройство, которое не только распознает приближающийся приступ, но и купирует его. Программа распознает участки, которые синхронно возбуждаются в различных областях мозга при эпилепсии. Увеличивается спектральная энергия, сосредоточенная в диапазонах 5 и 10 Гц, – постепенное увеличение от 5 Гц эмпирически предполагает увеличение взаимодействия между нейронами этих зон [6].

Биосовместимость инвазивного имплантата до сих пор остается одной из главных проблем. Несмотря на возможность считывания электродом отдельных нейронов, через некоторое время после проведения операции четкость показателей снижается. Защитные механизмы организма определяют имплантат как инородный предмет, образуя вокруг него соединительнотканную капсулу. Разрабатываются электроды с большей биосовместимостью, ведутся исследования по вживлению электродов, содержащих факторы роста нерва и разработке материалов, дающих меньшую ответную реакцию иммунитета [8].

Осуществление нейрореабилитации возможно благодаря нейропластичности – возможности нервной системы адаптироваться путем структурно-функциональных изменений. Необходимо учитывать, что многие врожденные рефлексы связаны с определенными нейронами, в то время как функцию условных рефлексов (приобретенных в ходе жизни) после гибели нейронов могут взять расположенные рядом клетки [10].

Функциональное знание о нейропластичности помогает пациентам с частичной утратой двигательных функций, при условии незначительного повреждения нейронов, отвечающих за передачу сигналов к лишенной подвижности области, быстрее восстанавливаться. Методы многоуровневой электростимуляции, массаж и применение лекарственных веществ для восстановления двигательной и чувствительной функций не всегда дают результаты. Нейрокомпьютерный интерфейс считывает намерение движения с моторной коры и передает его на экзоскелет конечности, который в режиме реального времени выполняет задуманное действие плохо иннервируемой конечностью. Благодаря этому в центральной нервной системе образуется взаимосвязь между намерением произвести движение и выполняемым действием, что ускоряет реабилитацию [12]. Даже при давней травме, когда пациент не помнит ощущения, приводящие к осуществлению движения, специально запрограммированный интерфейс помогает ему посылать правильные сигналы, которые с большей вероятностью вовлекут расположенные рядом нейроны в образование связи между мышечной тканью и двигательной корой [12].

Алгоритм, основываясь на записях моторной коры, может воспроизводить кинематику различных движений не только простых, но и сложных [13]. Реабилитация пациентов с двигательными нарушениями после инсульта способствует повторному обучению нейромоторике на основе индивидуальной пластичности. Воображение движения двигательной корой активирует работу экзоскелета, надетого на конечность. Зеркальные нейроны, во время осуществления пассивного движения конечности при помощи нейроинтерфейса, дополнительно стимулируют моторные ядра центральной нервной системы. В совокупности со систематическими повторениями упражнения активируется механизм нейропластичности. Исследования 2014-2016 гг., проходящие в неврологическом отделении ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского подтвердило положительное влияние на пациентов с гемипарезом различной степени, вызванным ишемическим или геморрагическим инсультом применение нейроинтерфейсов для реабилитации. Методом многоканальной энцефалографии с направлением отведений по известной из исследований локализации расположения инсульта, обучали больного правильному (кинетическому) воображению движения с чередованием повторений представления расслабления и движений лишенной подвижности конечностью. Итог контрольной группы испытуемых: положительный настрой и

вовлеченность в процессы у пациентов, повышение показателей двигательной функции конечности и силы мышц в среднем превышающие на 2-3% показатели пациентов, для нейрореабилитации которых не применялся нейроинтерфейс [14].

При отсутствии собственной конечности или невозможности восстановления двигательной функции после гибели нейронов, возможно использование нейроинтерфейсов, переводящих активность двигательной коры предцентральной извилины на роботизированное устройство. Методики считывания сигналов с коры головного мозга и перевода команды на протез изучаются и совершенствуются много лет [15]. Одно из таких устройств было продемонстрировано во время открытия чемпионата мира по футболу FIFA 2014 в Бразилии, когда парализованный человек в специальном экзоскелете смог пройтись и сделать первый удар по мячу. Ведутся разработки по проектированию более простых в управлении и дешевых аналоговых экзоскелетов, которые планируется ввести в массовое производство [16].

Следующим этапом в продвижении технологий, улучшающих жизнь пациентам с нарушением двигательных функций, является внедрение искусственных тактильных ощущений и объединение их в двунаправленные интерфейсы, соединяющие передачу чувствительных ощущений в мозг и двигательных программ от мозга на внешнее устройство. На данный момент времени экспериментальные устройства недоступны широкому кругу лиц [17].

В перспективе возможно создание нейроинтерфейсов «мозг-мозг», обеспечивающих связь между несколькими пользователями. Вероятность соединения мозга одного организма с другим, дает надежды на осуществление более быстрой передачи информации между пользователями интерфейсов. Эксперименты на лабораторных животных показали жизнеспособность данной теории. При помещении в разные комнаты двух крыс (одна осуществляла функцию передатчика, а другая приемника), у первой крысы, в момент, когда она видела и бежала к стимулу, активировались определенные зоны мозга, которые передавались второй крысе. Не видя первую, она безошибочно бежала к нужному стимулу в своей клетке [18].

#### **Список использованных источников**

1. A.Y. Kaplan. Neurophysiological foundations and practical implementations of brain-machine interface technology in neurological rehabilitation // *Human Physiology*. – 2016. – № 42–1. – P. 118–127.
2. M.A. Lebedev, M.A. Nicolelis. Brain-Machine Interfaces: From Basis Science to Neuroprostheses and Neurorehabilitation // *Physiological Reviews*. – 2017. – 97 (2). – P. 767–837.
3. N.R. Anderson, T.Blakery, G. Schalk. Electrocorticographic (ECoG) correlates of human arm movements // *Exp Brain Res*. – 2012. – 223 (1). – P. 1–10.
4. M.A. Lebedev, M.A. Nicolelis. Brain-Machine Interfaces: past, present and future // *Trends Neurosci*. – 2006. – 29 (9). – P. 536–546.
5. K.V. Shenoy, D. Meeker, S. Cao. Neural prosthetic control signals from plan activity // *Neuroreport*. 2003. 14 (4). P. 591-596.
6. A.K. Portsevsky. Hardware and software complexes of the "BOS-TEST" and "BOSS-LAB" series // *Modern innovative medical technologies*. – 2017. – 8. – P. 274–290.
7. A.A. Ovchinnikov, A. Luttjohann, A.E. Hramov. An Algorithm for Real-Time Detection of Spike-Wave Discharges in Rodents / [et al.] // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2010. – 194. – P.172 – 178.
8. A. Cavanna, F. Monaco. Brain Mechanisms of Altered Conscious States During Epileptic Seizures // *Nature Reviews Neurology*. – 2009. – 5. – P.267–276.
9. F.H. Gunther, J.S. Brumberg, E.J. Wright. A wireless brain-machine interface for real-time speech synthesis // *PLoS One*. – 2009. – 4 (12). – P. 8218.
10. J.B. Aimone, W. Deng, F.H. Adult. Neurogenesis: Integrating Theories and Separating Functions // *Trends in Cognitive Sciences*. – 2010. – 14. – P. 325–337.
11. Tyshkevich T.G. Multilevel stimulation in early rehabilitation of neurosurgical patients: Diss. Dr. Med. Sciences. St. Petersburg. 2014.
12. L.A. Stankevich, K.M. Sonkin, Z.V. Nagorena. Classification of electroencephalographic patterns of imaginary finger movements for the development of the brain-computer interface // *Proceedings of SPIIRAN*. – 2015. – 40. – P. 163–182.
13. Z. Xu, R.Q. So, K.K. Ang. On the asynchronously continuous control of mobile robot movement by motor cortical spiking activity // *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. – 2014 36th Annual International Conference of the IEEE, IEEE.
14. Frolov A.A. Biryukova E.V. Bobrov P.D. Kurganskaya M.E. Pavlova O.G. *Almanac of clinical medicine*. 2016. – 44 (3). – P. 280–286.
15. M.A. Nicolelis. Actions from thoughts// *Nature*. – 2001. – 409 (6818). – P. 403–407.

16.S. Shokur, S. Gallo, R.C. Moioli. Assimilation of virtual legs and perception of floor texture by complete paraplegic patients receiving artificial tactile feedback // Sci. Rep. – 2016.

17.J.E. O'Doherty, M.A. Lebedev, T.L. Hanson. A brain-machine interface instructed by direct intracortical microstimulation // Front Integr. Neurosci. – 2009. – 3 – P. 20.

18.M. Pais-Vieira, G. Chiuffa, M. Lebedev. Building an organic computing device with multiple interconnected brains // Sci Rep. – 2015. – 5. – P. 11869.

Работа выполнена в рамках соглашения о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации от 01.06.2022 г. №075-15-2022-1045.