

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ — КОМПЬЮТЕР В ЗАДАЧАХ РЕАБИЛИТАЦИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Р.Д. Чехвалов

З.А. Константинова

Д.С. Макеева

chrd201185@student.bmstu.ru

zlata21.03@mail.ru

hdnsgm@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

В настоящее время активно разрабатываются аппаратные методы двигательной реабилитации, в частности реабилитации после инсульта, однако их применение ограничено степенью тяжестью двигательного нарушения. Одним из вариантов реабилитации является применение интерфейса мозг — компьютер. В работе выполнен обзор применения указанной технологии в задачах реабилитации постинсультных пациентов с парезами. Для этого был осуществлен поиск работ в базе данных PubMed. На основе обзора публикации подразделены по группам, количественно оценены параметры точности и скорости передачи данных. Полученные результаты свидетельствуют об успешном применении в клинических задачах интерфейса мозг — компьютер на основе парадигмы воображения движения при восстановлении двигательных навыков. Также имеются тенденции к развитию парадигмы R300 для задач двигательной реабилитации, несмотря на малый объем экспериментальных данных в рассмотренных публикациях.

Ключевые слова

Электроэнцефалография, интер-фейс мозг — компьютер, инсульт, реабилитация, двигательные навыки, воображение движения, парадигма R300, экзоскелет

Поступила в редакцию 30.06.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. В связи с увеличением частоты случаев гиподинамии, продолжительного непрерывного стресса, гиперлипидемии, избыточной массы тела и злоупотребления вредными привычками среди взрослого населения повышается риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, в частности цереброваскулярных заболеваний (ЦВЗ). Динамика эпидемиологических показателей ЦВЗ по данным Министерства здравоохранения РФ показана на рис. 1 [1].

Наиболее опасным вариантом развития ЦВЗ является инсульт, т. е. острое нарушение кровообращения головного мозга. По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации [1], в 2016 г. в России было зафиксировано примерно 237 случаев ишемического инсульта на 100 тыс. населения в возрасте от 1 года. Несмотря на то что инсульт занимает одно из главных мест в статис-

тике смертности населения Российской Федерации, смертность от инсульта благодаря развитию системы специализированных отделений падает: с 2008 по 2016 г. этот показатель снизился на 45 % и составил 123 случая на 100 тыс. населения.



Рис. 1. Статистика заболеваемости и смертности от ЦВЗ

Инвалидизация вследствие инсульта, преимущественно связанная с двигательными и речевыми нарушениями, возглавляет статистику среди всех причин первичной инвалидности. В Российской Федерации проживают свыше 1 млн человек, перенесших инсульт, при этом треть из них составляют лица трудоспособного возраста, к трудовой деятельности же возвращается только каждый четвертый больной [1]. В связи с этим на сегодняшний день актуальна разработка эффективных методов реабилитации.

Поскольку последствия инсульта обладают выраженным полиморфизмом клинических проявлений, необходимо учитывать индивидуальные особенности пациента, что влияет на выбор методов реабилитации [2]. По этой же причине необходима разработка инновационных и модификация существующих методов восстановления двигательной активности.

Методы реабилитации. Под реабилитацией парализованных постинсультных пациентов подразумевается восстановление как двигательных функций пациента, так и его способностей к коммуникации и взаимодействию с окружающим миром [3]. Таким образом, методы реабилитации можно подразделить на две группы: социальную и двигательную.

Первая группа методов включает в себя психотерапию, эрготерапию, а также применение высокотехнологичных интерфейсов для улучшения уровня жизни пациентов. Среди таких интерфейсов можно выделить:

- а) интерфейс управления системами «умный дом»;
- б) интерфейс управления креслом-коляской;
- в) интерфейс ввода текста и синтеза его в речь;
- г) интерфейсы, позволяющие взаимодействовать с персональным компьютером.

Ко второму типу методов реабилитации относят [2]:

- а) физиотерапию;
- б) лечебный массаж;
- в) зеркальную терапию;
- г) терапию ограничением движения;
- д) терапию на основе воображения движения;
- е) аппаратную реабилитацию;
- ж) высокотехнологичные методы;
- и) фармакотерапию.

Несмотря на повышение эффективности восстановления функции верхней пораженной конечности при использовании аппаратной реабилитации совместно с базовыми методами подобные технологии обладают недостатками. В большинстве существующих современных аппаратных роботизированных устройств используются специальные датчики, расположенные на поверхности пораженной конечности, поэтому возможности управления такими устройствами сильно зависят от степени функциональной сохранности нейромышечного аппарата. Это приводит к ограничению эффективности реабилитации в случае выраженного или грубого пареза.

Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является использование технологии интерфейса мозг — компьютер (ИМК). Это система, позволяющая испытуемому взаимодействовать с компьютером посредством его мозговой активности, без участия произвольных движений. Выделяют две основные категории использования ИМК для пациентов с нарушением движения [4]: коммуникация с окружающим миром и реабилитация. На данный момент ИМК широко применяется при осуществлении коммуникации между пользователем и устройствами в системах «умный дом», но внедрение этой технологии в двигательную реабилитацию изучено менее подробно. Более того, технология ИМК позволяет оценить в динамике нейропластичность в процессе двигательной тренировки и может быть совмещена с другими методами реабилитации, в частности с технологией виртуальной реальности и с функциональной электростимуляцией (FES). В данной статье рассмотрены варианты применения ИМК в задачах двигательной реабилитации постинсультных пациентов.

Схема функционирования интерфейса мозг — компьютер. Общий принцип работы стимуляционного ИМК [3] показан на рис. 2. В системе ИМК присутствует четыре звена: 1) непосредственно пациент; 2) стимулятор; 3) система

сбора сигналов мозговой активности; 4) интерфейс, обрабатывающий полученные сигналы и осуществляющий как обратную связь, так и коммуникацию пациента с внешними устройствами.

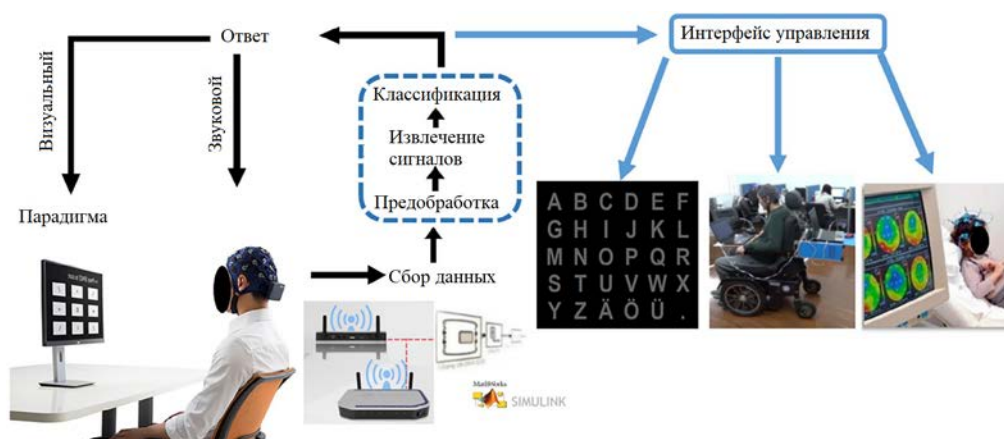


Рис. 2. Структура ИМК на основе вызванных потенциалов P300 [3]

В большинстве современных ИМК в качестве системы сбора данных используется электроэнцефалограф, который регистрирует электроэнцефалографический (ЭЭГ) сигнал, который отражает суммарную электрической активность нейронов головного мозга на поверхности скальпа. Для установки электродов на поверхность скальпа используется международная система 10–20.

Выделяют несколько ритмов электрической активности, возникающих при определенных функциональных состояниях головного мозга. Основными ритмами являются:

- δ -ритм, регистрирующийся в состоянии спокойного бодрствования, в диапазоне частот 8...13 Гц и с амплитудой порядка 50 мкВ;
- θ -ритм, отражающий состояние активного бодрствования, который диапазон частот 13...30 Гц и амплитуду 20...25 мкВ;
- α -ритм, возникающий в состоянии неглубокого сна, в диапазоне частот 4...8 Гц и амплитудой 100...150 мкВ;
- τ -ритм, наблюдающийся в состоянии глубокого сна, имеет частотный диапазон 0,5...4,0 Гц и амплитуду порядка 200 мкВ;
- β -ритм, который является поддиапазоном δ -ритма, но имеет другую пространственную локализацию и подавляется при активации двигательной функции.

Интерфейс мозг — компьютер условно классифицируют по типу используемого нейромеханизма:

- 1) воображение движения (MI);
- 2) стационарные зрительные вызванные потенциалы (SSVEP);
- 3) когнитивный вызванный потенциал P300.

Первый тип основан на μ -ритмах — специфических ритмах ЭЭГ, в спокойном расслабленном состоянии локализующихся в проекционной сенсомоторной коре. При воображении движения конечностей в соответствующих участках проекционной коры уменьшается амплитуда β -ритма. Таким образом, путем мысленного представления движения пораженной конечности можно управлять роботизированным устройством, восстанавливающим движение данной конечности.

Во втором случае — применении технологии SSVEP — в ответ на визуальную стимуляцию в зрительной коре головного мозга возникает навязанный ритм, кратный частоте стимуляции. Благодаря этому пациент может выбрать стимул, связанный с определенной командой управления, среди одновременно демонстрируемых визуальных стимулов, что по записи ЭЭГ позволит определить выбранный пациентом стимул и передать команду на исполняющее устройство.

Третий тип используемого нейромеханизма P300 — это компонент вызванного потенциала с латентностью, т. е. временем от момента подачи стимула до формирования соответствующего пика, равным примерно 300 мс и с амплитудой около 20 мкВ, появляющийся в ответ на значимый для испытуемого стимул. Этот пик, связан с эндогенными событиями, происходящими в головном мозге при опознании значимых стимулов, их удержании (запоминании), счете, принятии решений, т. е. является отражением когнитивных процессов. На основе концентрации внимания пользователем на конкретном стимуле можно детектировать выбранный стимул на основе ЭЭГ-сигнала, что используется в технологии набора текста, которая называется «спеллер» (рис. 3).



Рис. 3 Матрица для ввода текста при использовании парадигмы P300 [3]

Вызванный потенциал P300 в последнее время все чаще применяется в клинической практике при оценке ранних доклинических когнитивных нарушений и деменций различного генеза [5]. Кроме того, в процессе двигательной реабилитации возможна количественная оценка степени внимания пациента

к выбранной для совершения движения команде. В качестве внешнего устройства вместо «спеллера» в данном случае будет использоваться роботизированный экзоскелет, позволяющий совершать движения отдельных пальцев.

Оценка применяемых технологий. Для обзора применения ИМК в задачах реабилитации были рассмотрены статьи, в которых описаны указанные выше нейромеханизмы. В базе данных Национального центра биотехнической информации PubMed был выполнен поиск статей по ключевым словам BCI, EEG, Rehabilitation, Stroke. Сортировка проведена по критерию лучшего соответствия запроса — Best match. Рассмотрен публикационный период с 2010 по 2022 г. Динамика количества публикаций по соответствующему запросу показана на рис. 4.

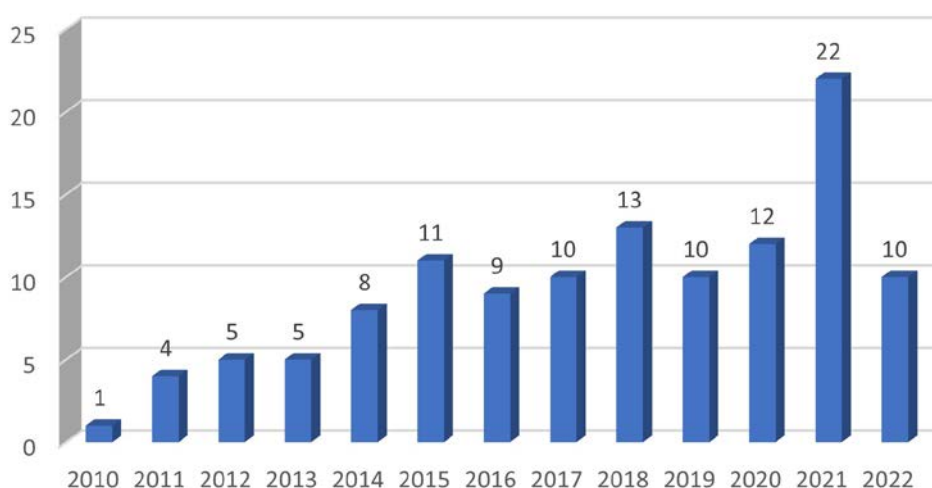


Рис. 4. Количество публикаций в 2010–2022 гг. в базе данных PubMed

Заданным ключевым словам соответствовали 114 статей. Заметна тенденция к росту числа статей по данной тематике: от 4 статей в 2011 г. до 12 и 22 статей в 2020 и 2021 г. соответственно, что говорит о повышении научного интереса к этому вопросу.

Из полученных статей были отобраны и сведены в табл. 1 те, которые включали в себя экспериментальные данные и содержали информацию о методике, числе испытуемых, скорости передачи данных (СПД), точности распознавания команд.

Всего в табл. 1 на основе анализа информативных критериев вошло 18 статей, среди которых 10 используют ИМК на основе воображения движения [6–14], 4 основаны на воображении движения с применением функциональной электростимуляции (FES) [15–18], 4 — на вызванных потенциалах P300 [19–22]. Скорость передачи данных ИМК в рассматриваемых публикациях авторы не

указывали, кроме работы [22], однако мы оценивали количество информации исходя из числа максимально возможных команд управления для данного интерфейса и времени распознавания команды. Точность ИМК характеризуется отношением успешно распознанных вводов команды через ИМК к общему количеству вводов.

Таблица 1

Основные характеристики ИМК в рассматриваемых статьях

Тип ИМК	Авторы статьи, ссылка	Год публикации	Число испытуемых	СПД, бит/мин	Точность распознавания команд, %
MI	Patricio Barria at al [6]	2021	5	30	68
MI	Girijesh Prasad at al [7]	2010	5	6	75
MI	Mads Jochumsen at al [8]	2021	11	—	86
MI	Rui Sun al [9]	2017	11	2	—
MI	Chong Li at al [10]	2019	15	8,5	75
MI	Reinhold Scherer at al [11]	2014	9	—	70
MI	Josef Faller at al [12]	2015	11	4,7	90
MI	Ruben I Carino-Escobar at al [13]	2019	9	3,5	—
MI	Imran Khan Niazi at al [14]	2022	12	6	—
MI	Takashi Ono at al [15]	2014	12	4	—
MI + FES	Anna Zulauf-Czaja at al [16]	2021	8	1,6	90
MI + FES	An H Do at al [17]	2021	5	10	100
MI + FES	Danut C Irimia at al [18]	2018	5	7,5	87
MI + FES	Mahnaz Arvaneh at al [19]	2017	4	5	—
P300	Jingsheng Tang at al [20]	2018	7	—	100
P300	Sebastian Halde at al [21]	2013	—	—	—
P300	Luis Fernando Nicolas-Alonso, Jaime Gomez-Gil [22]	2012	—	—	—
P300	Jonathan Delijorge at al [23]	2020	26	18*	90

* — значение СПД, приведенное авторами работы (остальные значения вычислены нами как отношения информативности сигнала к времени подачи).

В статье Patricio Barria [6] СПД является максимальной среди всех рассмотренных и соответствует 30 бит/мин. Однако указанная точность 68 % является наименьшей точностью по данным всех рассмотренных статей. В большинстве публикаций указанная точность превышает 70 %. Авторы An H Do [17] и Jingsheng Tang [20] фиксируют 100%-ную точность, однако они рассматривали

адаптивный алгоритм подстройки числа эпох усреднения для увеличения соотношения сигнал-шум, увеличивая время процедуры ввода символа.

Авторы Chong Li [10], Reinhold Scherer [11], Josef Faller [12] оценивали характеристики самого получаемого ЭЭГ-сигнала в зависимости от расположения и типа электродов, что позволило им обосновать выбор необходимого числа электродов при повышении точности.

Работы Ruben I Carino-Escobar [13], Imran Khan Niazi [10], Takashi Ono [14] отличаются проведением исследований исключительно на пациентах, а не на здоровых испытуемых. Цель их работ — оценка возможностей применения ИМК на временном промежутке в несколько месяцев в домашних условиях с учетом изменения характеристик сенсомоторных ритмов.

Особой группой исследований являются работы с применением FES при вождении движения [15–18]. По сравнению с другими группами исследований по MI [6–14] они отличаются более высокой точностью распознавания, однако СПД в таких работах меньше среднего и даже может достигать значения 1,6 бит/мин [15].

Рассмотренные статьи по применению вызванных потенциалов P300 выделяются отсутствием конкретных данных о точности классификации или СПД. Лишь публикация Jonathan Delijorge [22] имеет полные данные. Более того, в экспериментальных исследованиях участвовали пациенты с двигательными нарушениями, а в качестве внешнего устройства рассматривалась роботизированная кисть-экзоскелет Hand of Hope. В статье Jingsheng Tang [19] 2018 г. указана лишь точность распознавания команд, а в более ранних публикациях Sebastian Halde, 2013 г. [20] и Luis Fernando Nicolas-Alonso, Jaime Gomez-Gil, 2012 г. и [21] вовсе нет данных о точности и СПД.

Таким образом, рассмотренные в табл. 1 публикации можно подразделить на пять групп по области применения разрабатываемого ИМК и целей исследования: 1) реабилитация с использованием экзоскелета; 2) выбор электродов для увеличения эффективности распознавания ИМК; 3) оценка возможности продолжительного использования ИМК в домашних условиях; 4) реабилитация с применением технологии FES; 5) исследование характеристик вызванного потенциала P300 для пациентов с двигательными нарушениями. Для каждой группы оценивалась средняя точность классификации ИМК и средняя СПД.

Среднюю точность ИМК на основе анализа публикаций вычисляли по следующей формуле (по аналогии рассчитывали среднюю СПД):

$$A_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^l a_i N_i}{\sum_{i=1}^l N_i},$$

где A_{cp} — средняя точность с учетом количества испытуемых; a_i — точность распознавания команд, указанная в статье; N_i — число испытуемых.

Объединенные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Количественное сравнение характеристик ИМК в публикациях, объединенных в группы

Характеристика	Экзоскелет	Выбор расположения электродов	Длительное использование в домашних условиях	Применение технологии FES для улучшений качеств ИМК	P300
Статьи	[6–9]	[10–12]	[13–15]	[16–19]	[20–23]
Годы публикаций	2010–2021	2015–2019	2014–2022	2011–2021	2012–2020
Средняя СПД, бит/мин	12,7	6,6	4,5	6	18
Средняя точность, %	79	78	—	92	92

Заключение. На основе литературного обзора применения ИМК в задаче постинсультной реабилитации выделено пять групп направлений: 1) исследования по управлению экзоскелетом на основе воображения движения; 2) анализ выбора электродных систем для увеличения соотношения сигнал/шум при регистрации сенсомоторных ритмов; 3) оценка возможности длительного использования ИМК на основе воображения движения в домашних условиях для пациентов с двигательными нарушениями; 4) оценка степени реабилитации пациентов с помощью функциональной электростимуляции на основе воображения движения; 5) применение парадигмы P300 в задачах реабилитации — как теоретические возможности, так и экспериментальные исследования. Наилучшую СПД более 10 бит/мин обеспечивают ИМК для управления экзоскелетом на основе парадигмы воображения движения и вызванных потенциалов P300. Наибольшая точность (около 90 %) присуща ИМК, совмещенным с функциональной электростимуляцией, однако они имеют незначительную СПД. Относительно небольшой публикационный период исследований и тенденция к увеличению роста числа публикаций указывают на перспективность исследований в области двигательной реабилитации с использованием ИМК.

Литература

- [1] Пирадов М.А., Максимова М.Ю., Танащян М.М. Инсульт. М., Пошаговая инструкция. ГЭОТАР-Медиа, 2019.

- [2] Мокиенко О.А., Супонева Н.А., ред. Инсульт у взрослых: центральный парез верхней конечности. Клинические рекомендации. М., МЕДпресс-Информ, 2018.
- [3] Allison B.Z., Kübler A., Jin J. 30+ years of P300 brain-computer interfaces. *Psychophysiology*, 2020, vol. 57, no. 7, art. e13569. DOI: <https://doi.org/10.1111/psyp.13569>
- [4] Casey A., Azhar H., Grzes M. et al. BCI controlled robotic arm as assistance to the rehabilitation of neurologically disabled patients. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, 2021, vol. 16, no. 5, pp. 525–537. DOI: <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1683239>
- [5] Гнездицкий В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике. Таганрог, Изд-во ТРТУ, 1997.
- [6] Barria P., Pino A, Tovar N. et al. BCI-based control for ankle exoskeleton T-FLEX: comparison of visual and haptic stimuli with stroke survivors. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 19, art. 6431. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21196431>
- [7] Prasad G., Herman P., Coyle D. et al. Applying a brain-computer interface to support motor imagery practice in people with stroke for upper limb recovery: a feasibility study. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2010, vol. 7, no. 1, art. 60. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-60>
- [8] Jochumsen M., Janjua T.A.M., Arceo J.C. et al. Induction of neural plasticity using a low-cost open source brain-computer interface and a 3D-printed wrist exoskeleton. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 2, art. 572. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21020572>
- [9] Sun R., Wong W.W., Wang J. et al. Changes in electroencephalography complexity using a brain computer interface-motor observation training in chronic stroke patients: a fuzzy approximate entropy analysis. *Front. Hum. Neurosci.*, 2017, vol. 11, art. 444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00444>
- [9] Li C., Jia T., Xu Q. et al. Brain-computer interface channel-selection strategy based on analysis of event-related Desynchronization topography in stroke patients. *J. Healthc. Eng.*, 2019, vol. 2019, art. 3817124. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3817124>
- [10] Niazi I.K., Navid M.S., Rashid U. et al. Associative cued asynchronous BCI induces cortical plasticity in stroke patients. *Ann. Clin. Transl. Neurol.*, 2022, vol. 9, no. 5, pp. 722–733. DOI: <https://doi.org/10.1002/acn3.51551>
- [11] Scherer R., Faller J., Friedrich E.V.C. et al. Individually adapted imagery improves brain-computer interface performance in end-users with disability. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 5, art. e0123727. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123727>
- [12] Faller J., Scherer R., Friedrich E.V.C. et al. Non-motor tasks improve adaptive brain-computer interface performance in users with severe motor impairment. *Front. Neurosci.*, 2014, vol. 8, art. 320. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00320>
- [13] Carino-Escobar R.I., Carrillo-Mora P., Valdés-Cristerna R. et al. Longitudinal analysis of stroke patients' brain rhythms during an intervention with a brain-computer interface. *Neural Plast.*, 2019, vol. 2019, art. 7084618. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/7084618>
- [14] Ono T., Shindo K., Kawashima K. et al. Brain-computer interface with somatosensory feedback improves functional recovery from severe hemiplegia due to chronic stroke. *Front. Neuroeng.*, 2014, vol. 7, art. 19. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00019>
- [15] Zulauf-Czaja A., Al-Taleb M.K.H., Purcell M. et al. On the way home: a BCI-FES hand therapy self-managed by sub-acute SCI participants and their caregivers: a usability study. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2021, vol. 18, no. 1, art 44. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00838-y>

- [16] Do A.H., Wang P.T., King C.E. et al. Brain-computer interface controlled functional electrical stimulation system for ankle movement. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2011, vol. 8, no. 1, art. 49. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-49>
- [17] Irimia D.C., Ortner R., Poboroniuc M.S. et al. High classification accuracy of a motor imagery based brain-computer interface for stroke rehabilitation training. *Front. Robot. AI*, 2018, vol. 29, art. 130. DOI: <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00130>
- [18] Arvaneh M., Guan C., Ang K.K. et al. Facilitating motor imagery-based brain-computer interface for stroke patients using passive movement. *Neural Comput. Appl.*, 2017, vol. 28, no. 11, pp. 3259–3272. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs00521-016-2234-7>
- [29] Tang J., Liu Y., H D. et al. Towards BCI-actuated smart wheelchair system. *Biomed. Eng. Online.*, 2018, vol. 17, no. 1, art. 111. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0545-x>
- [20] Halder S., Hammer E.M., Kleih S.C. et al. Prediction of auditory and visual p300 brain-computer interface aptitude. *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 2, art. e53513. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053513>
- [21] Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain computer interfaces, a review. *Sensors*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 1211–1279. DOI: <https://doi.org/10.3390/s120201211>
- [22] Delijorge J., Mendoza-Montoya O., Gordillo J.L. et al. Evaluation of a p300-based brain-machine interface for a robotic hand-orthosis control. *Front. Neurosci.*, 2020, vol. 14, art. 589659. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.589659>

Чехвалов Роман Дмитриевич — студент кафедры «Медико-технические информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Константинова Злата Алексеевна — студентка кафедры «Медико-технические информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Макеева Дарья Сергеевна — студентка кафедры «Медико-технические информационные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Дмитриев Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры «Медико-технические информационные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Чехвалов Р.Д., Константинова З.А., Макеева Д.С. Обзор современных технологий интерфейса мозг — компьютер в задачах реабилитации двигательных нарушений. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 06(71).

<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-06-806>

AN OVERVIEW OF MODERN BRAIN-COMPUTER INTERFACE TECHNOLOGY IN TASKS OF MOTOR REHABILITATION

R.D. Chekhvalov
Z.A. Konstantinova
D.S. Makeeva

chrd201185@student.bmstu.ru
zlata21.03@mail.ru
hdnskmg@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

Hardware methods of motor rehabilitation, in particular stroke rehabilitation, are being actively developed, but their use is limited by the severity of the motor impairment. One of the rehabilitation options is the use of a brain-computer interface. This paper gives a review of the application of this technology in the rehabilitation of post-stroke patients with paresis. For this purpose, a search of publications in the PubMed database was carried out. On the basis of the review, the publications are subdivided into groups and the accuracy and speed of data transfer are quantified. The results indicate a successful application of the brain-computer interface based on the motion imagination paradigm in the restoration of motor skills in clinical tasks. There are also trends towards the development of the P300 paradigm for motor rehabilitation tasks, despite the small amount of experimental data in the reviewed publications.

Keywords

Electroencephalography, brain-computer interface, stroke, rehabilitation, motor skills, imaginative movement, P300 paradigm, exoskeleton

Received 30.06.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Piradov M.A., Maksimova M.Yu., Tanashyan M.M. Insult. Poshagovaya instruktsiya [Stroke. Step-by-step guide]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2019 (in Russ.).
- [2] Mokienko O.A., Suponeva N.A., eds. Insult u vzroslykh: tsentralnyy parez verkhney konechnosti. Klinicheskie rekomendatsii [Stroke and adults: central paresis of the upper limb. Clinical recommendations]. Moscow, MEDpress-Inform Publ., 2018 (in Russ.).
- [3] Allison B.Z., Kübler A., Jin J. 30+ years of P300 brain-computer interfaces. *Psychophysiology*, 2020, vol. 57, no. 7, art. e13569. DOI: <https://doi.org/10.1111/psyp.13569>
- [4] Casey A., Azhar H., Grzes M. et al. BCI controlled robotic arm as assistance to the rehabilitation of neurologically disabled patients. *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, 2021, vol. 16, no. 5, pp. 525–537. DOI: <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1683239>
- [5] Gnezditskiy V.V. Vyzvannye potentsialy mozga v klinicheskoy praktike [Brain evoked potential in clinical practice]. Taganrog, Izd-vo TRTU Publ., 1997 (in Russ.).
- [6] Barria P., Pino A, Tovar N. et al. BCI-based control for ankle exoskeleton T-FLEX: comparison of visual and haptic stimuli with stroke survivors. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 19, art. 6431. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fs21196431>

- [7] Prasad G., Herman P., Coyle D. et al. Applying a brain-computer interface to support motor imagery practice in people with stroke for upper limb recovery: a feasibility study. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2010, vol. 7, no. 1, art. 60. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-60>
- [8] Jochumsen M., Janjua T.A.M., Arceo J.C. et al. Induction of neural plasticity using a low-cost open source brain-computer interface and a 3D-printed wrist exoskeleton. *Sensors*, 2021, vol. 21, no. 2, art. 572. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21020572>
- [9] Sun R., Wong W.W., Wang J. et al. Changes in electroencephalography complexity using a brain computer interface-motor observation training in chronic stroke patients: a fuzzy approximate entropy analysis. *Front. Hum. Neurosci.*, 2017, vol. 11, art. 444. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00444>
- [9] Li C., Jia T., Xu Q. et al. Brain-computer interface channel-selection strategy based on analysis of event-related Desynchronization topography in stroke patients. *J. Healthc. Eng.*, 2019, vol. 2019, art. 3817124. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3817124>
- [10] Niazi I.K., Navid M.S., Rashid U. et al. Associative cued asynchronous BCI induces cortical plasticity in stroke patients. *Ann. Clin. Transl. Neurol.*, 2022, vol. 9, no. 5, pp. 722–733. DOI: <https://doi.org/10.1002/acn3.51551>
- [11] Scherer R., Faller J., Friedrich E.V.C. et al. Individually adapted imagery improves brain-computer interface performance in end-users with disability. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 5, art. e0123727. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123727>
- [12] Faller J., Scherer R., Friedrich E.V.C. et al. Non-motor tasks improve adaptive brain-computer interface performance in users with severe motor impairment. *Front. Neurosci.*, 2014, vol. 8, art. 320. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00320>
- [13] Carino-Escobar R.I., Carrillo-Mora P., Valdés-Cristerna R. et al. Longitudinal analysis of stroke patients' brain rhythms during an intervention with a brain-computer interface. *Neural Plast.*, 2019, vol. 2019, art. 7084618. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/7084618>
- [14] Ono T., Shindo K., Kawashima K. et al. Brain-computer interface with somatosensory feedback improves functional recovery from severe hemiplegia due to chronic stroke. *Front. Neuroeng.*, 2014, vol. 7, art. 19. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneng.2014.00019>
- [15] Zulauf-Czaja A., Al-Taleb M.K.H., Purcell M. et al. On the way home: a BCI-FES hand therapy self-managed by sub-acute SCI participants and their caregivers: a usability study. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2021, vol. 18, no. 1, art 44. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00838-y>
- [16] Do A.H., Wang P.T., King C.E. et al. Brain-computer interface controlled functional electrical stimulation system for ankle movement. *J. Neuroeng. Rehabil.*, 2011, vol. 8, no. 1, art. 49. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-49>
- [17] Irimia D.C., Ortner R., Poboroniuc M.S. et al. High classification accuracy of a motor imagery based brain-computer interface for stroke rehabilitation training. *Front. Robot. AI*, 2018, vol. 29, art. 130. DOI: <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00130>
- [18] Arvaneh M., Guan C., Ang K.K. et al. Facilitating motor imagery-based brain-computer interface for stroke patients using passive movement. *Neural Comput. Appl.*, 2017, vol. 28, no. 11, pp. 3259–3272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2234-7>
- [19] Tang J., Liu Y., H D. et al. Towards BCI-actuated smart wheelchair system. *Biomed. Eng. Online.*, 2018, vol. 17, no. 1, art. 111. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0545-x>

- [20] Halder S., Hammer E.M., Kleih S.C. et al. Prediction of auditory and visual p300 brain-computer interface aptitude. *PloS One*, 2013, vol. 8, no. 2, art. e53513.
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053513>
- [21] Nicolas-Alonso L.F., Gomez-Gil J. Brain computer interfaces, a review. *Sensors*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 1211–1279. DOI: <https://doi.org/10.3390/s120201211>
- [22] Delijorge J., Mendoza-Montoya O., Gordillo J.L. et al. Evaluation of a p300-based brain-machine interface for a robotic hand-orthosis control. *Front. Neurosci.*, 2020, vol. 14, art. 589659. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.589659>

Chekhvalov R.D. — Student, Department of Medical and Technical Information Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Konstantinova Z.A. — Student, Department of Medical and Technical Information Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Makeeva D.S. — Student, Department of Medical and Technical Information Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Dmitriev A.N., Senior Lecturer, Department of Medical and Technical Information Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Chekhvalov R.D., Konstantinova Z.A., Makeeva D.S. An overview of modern brain-computer interface technology in tasks of motor rehabilitation. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 06(71).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-06-806.html> (in Russ.).