

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ИНСУЛЬТА НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕЙСА МОЗГ-КОМПЬЮТЕР В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Моисеева К. В.

Научный руководитель: канд. мед. наук, доц. Захаров А. В.

Самарский государственный медицинский университет, г. Самара

Резюме. Технология интерфейс "мозг-компьютер" представляет собой перспективный подход к реабилитации после инсульта. Проведено исследование эффективности программно-аппаратного комплекса, включающая виртуальную реальность для создания сенсомоторных задач, интерфейс мозг-компьютер для декодирования моторных целей из электроэнцефалографических сигналов и роботизированный манипулятор, который выполняет движения поражённой инсультом руки. В исследовании приняли участие три группы пациентов: группа с интерфейсом "мозг-компьютер" (N=8), где интерфейс "мозг-компьютер" активировал движения роботизированного манипулятора; группа без интерфейса "мозг-компьютер" (N=7) и контрольная группа (N=7), которая не проходила тренировку. Полученные результаты показали, что улучшения на шкале Fugl-Meyer Assessment для верхних конечностей составили $1,4 \pm 1,6$ балла в контрольной группе, $23,1 \pm 11,8$ балла в группе без интерфейса "мозг-компьютер" и $27,6 \pm 13,7$ балла в группе с использованием технологии интерфейс "мозг-компьютер". На шкале Action Research Arm Test улучшения достигли $0,0 \pm 0,0$ балла в контрольной группе, $14,7 \pm 20,6$ балла в группе без интерфейса "мозг-компьютер" и $20,6 \pm 19,3$ балла в группе с использованием технологии интерфейс "мозг-компьютер". Предложенный метод способствует восстановлению двигательной функции через нейропластические процессы, что открывает новые возможности для повышения эффективности реабилитации.

Ключевые слова: инсульт; реабилитация; интерфейс мозг-компьютер; виртуальная реальность, ишемический инсульт.

Актуальность. В течение последних десятилетий наблюдается существенный прогресс в подходах нейроинженерии, с использованием вычислительных методов, нейрокомпьютерных интерфейсов и роботизированных технологий. Применение данных подходов направлено на повышение эффективности реабилитации двигательных и когнитивных нарушений при неврологических заболеваниях, в том числе острых нарушений мозгового кровообращения. На данный момент сформирован консенсус в отношении того, что ре-

билитация после острого нарушения мозгового кровообращения должна начинаться на ранней стадии и продолжаться на всех последующих этапах восстановления. Двигательные нарушения функции верхней конечности наблюдаются у 80 % пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК), у 40 % из них они сохраняются на протяжении всей жизни, являясь основной причиной инвалидизации. Использование различных реабилитационных подходов направлено на активацию пластичности мозга, однако наиболее

перспективными являются виртуальная реальность (VR) и интерфейсы мозг-компьютер (ИМК) [1]. Технология VR позволяет создавать виртуальные сценарии, в которых пациент совершает движения и взаимодействует с объектами. Такое взаимодействие, реализуемое в виртуальной среде, способствует активным пластическим изменениям в нейронных сетях, которые обрабатывают визуальную, моторную и проприоцептивную информацию [2]. В то время как парадигмы виртуальной реальности позволяют управлять визуальной информацией, связанной с двигательными целями, ИМК регистрирует электроэнцефалограмму в целевой области мозга и преобразует эту активность в управляющие команды для роботизированного ортеза [3]. Таким образом, ИМК могут быть использованы в качестве реабилитационной технологии, способствующей восстановлению моторного контроля у пациентов с двигательными нарушениями вследствие острых нарушений мозгового кровообращения. Это позволит активизировать процессы нейропластичности, снижая при этом мальадаптацию. Тем не менее, несмотря на полученные результаты с использованием ИМК на основе моторного воображения (МВ), подобные интерфейсы представляют собой лишь один из множества доступных дизайнов интерфейсов "мозг-компьютер" применяемых в контексте постинсультной реабилитации [4]. В данном исследовании была изучена эффективность МВ-ИМК для реабилитации.

Цель: исследование эффектив-

ности роботизированной реабилитации под управлением интерфейса мозг-компьютер с использованием виртуальной реальности у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения в раннем реабилитационном периоде при использовании технологии МВ-ИМК. Гипотеза заключалась в том, что если этот МВ-ИМК будет запускать роботизированно-ассистированные движения руки, то возникающая в реальном времени визуальная и соматосенсорная обратная связь от этих движений будет происходить синхронно с активностью корковых сетей, ответственных за сенсомоторную трансформацию. Подобная нейропластичность Хебба является необходимым условием для возникновения корковой пластичности, лежащей в основе восстановления двигательных функций.

Задачи:

1. Изучить клинические и нейрофизиологические показатели, характеризующие двигательные нарушения верхней конечности у пациентов в раннем реабилитационном периоде после ОНМК.

2. Определить роль парадигмы идеомоторного представления движения при использовании интерфейса мозг компьютер и виртуальной реальности, в эффективности восстановления двигательной функции верхней конечности у пациентов после острого нарушения мозгового кровообращения на основании динамики реабилитационных шкал.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 22 пациента с впервые перенесённым ише-

мическим инсультом в бассейне сонной артерии, в период от 0 до 215 дней до поступления в отделение неврологии (среднее значение – $22,5 \pm 60,2$ дня; медиана – 1 день). Длительность пребывания пациентов в стационаре варьировала от 9 до 31 дня (среднее значение – $15,4 \pm 4,5$ дня, медиана – 14,5 дня). Все пациенты дали информированное согласие на участие в исследовании. Пациенты были рандомизированы в 3 группы: группу пациентов с использованием МВ-ИМК (N=8), без использования МВ-ИМК (N=7) где движения роботизированного ортеза осуществлялось в пассивном режиме и контрольную (N=7). Пациенты контрольной группы получали реабилитацию, предусмотренную стандартами оказания медицинской помощи пациентам с острыми нарушениями мозгового кровообращения в соответствии с текущими предписаниями лечащего или наблюдающего медицинского специалиста. В упражнениях использовалась парадигма идеомоторного представления движения, в ходе которой от пациента требуется реализовать перемещение парализованной руки, имитирующее повседневные движения (сгибание-разгибание руки в плечевом, локтевом суставе, запястье и другие). Длительность занятий составила 10 дней, по 40 минут. Оценка двигательной функции проводилась с помощью теста FMA-UE для верхней конечности (англ. Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity) и на основании динамики по шкале ARAT (англ. Action Research Arm Test). Сравнение изменений между

группами проводилось с использованием двустороннего критерия Манна-Уитни. Нормальность распределения данных проверялась с помощью критерия Шапиро-Уилка.

Результаты и их обсуждение. Результаты показали, что на шкале FMA-UE улучшения составили $1,4 \pm 1,6$; $23,1 \pm 11,8$ и $27,6 \pm 13,7$ баллов для контрольной группы, группы без МВ-ИМК и группы МВ-ИМК соответственно. Аналогичные показатели на шкале ARAT составили $0,0 \pm 0,0$; $14,7 \pm 20,6$ и $20,6 \pm 19,3$ баллов. Полученные данные демонстрируют значительные улучшения в группах, использующих реабилитацию с МВ-ИМК, по сравнению с контрольной группой и группой без применения МВ-ИМК. Показатель NIHSS, являющийся интегральным индикатором выраженности неврологического дефицита, не продемонстрировал статистически значимых различий между группами. Данная шкала оценивает неврологический дефицит комплексно, включая не только двигательные нарушения, но и расстройства других функций. Наиболее выраженные результаты реабилитации в группах МВ-ИМК и без МВ-ИМК были получены при использовании шкал, специализированных для оценки двигательных функций: FMA-UE и ARAT. Оценка по шкале FMA-UE выявила статистически значимые улучшения функций верхних конечностей, наиболее часто используемых в повседневной жизни, при сравнении контрольной группы как с группой МВ-ИМК, так и с группой без МВ-ИМК. Шкала ARAT показала более

значительное улучшение двигательной функции верхних конечностей в группе МВ-ИМК по сравнению с контрольной группой. В группе без МВ-ИМК также наблюдалось улучшение по сравнению с контрольной группой, однако данный эффект оказался на границе статистической значимости ($p = 0,056$). МВ-ИМК функционировала путем регистрации корковых ответов на моторные цели, когда участники сосредотачивались на них. Этот ключевой элемент позволял синхронизировать движение роботизированной руки с мозговой командой.

Выводы. Использование технологии интерфейсов мозг-компьютер для целенаправленного воздействия на нейропластичность является перспективным подходом, способствующим повышению эффективности двигательной реабилитации и ускорению восстановления функций верхней конечности у пациентов в раннем восстановительном периоде после инсульта. Дальнейшее изучение механизмов нейропластичности и способов ее активации является ключом к разработке более целенаправленных и результативных стратегий нейрореабилитации.

Литература:

1. M. A. Cervera, S. R. Soekadar, J. Ushiba [et al.]. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis. *Annals of Clinical and Translational Neurology*. 2018;5(5):651–663. DOI: 10.1002/acn3.544
2. Bulanov, Vladimir and Zakharov, Alexander and Sergio, Lauren and Lebedev, Mikhail. Visuomotor Transformation with a P300 Brain-Computer Interface Combined with Robotics and Virtual Reality: A Device for Post-Stroke Rehabilitation. 2021. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3811232> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3811232>. Published March 24, 2021. Accessed. December 1 2024.
3. Silva, S., Borges, L. R., Santiago, L., Lucena, L. Motor imagery for gait rehabilitation after stroke. *The Cochrane database of systematic reviews/* 2020;9(9), CD013019. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013019.pub2>
4. Захаров А.В., Хивинцева Е.В., Колсанов А.В., и др. Результаты открытого исследования эффективности двигательной реабилитации пациентов в остром периоде ишемического инсульта с использованием иммерсивной виртуальной реальности. *Наука и инновации в медицине*. 2019;4(2). С. 38-42. DOI: 10.35693/2500-1388-2019-4-2-38-42

UPPER EXTREMITY MOTOR REHABILITATION OF POST-STROKE PATIENTS USING THE BRAIN-COMPUTER INTERFACE IN VIRTUAL REALITY

Moiseeva K. V.

*Tutor: PhD, associate professor Zaharov A.V.
Samara State Medical University, Samara*

Resume. Brain-computer interfaces (BCIs) represent a promising approach to post-stroke rehabilitation. An integrated system was developed, combining virtual reality for creating sen-

sorimotor tasks, a brain-computer interface for decoding motor intentions from electroencephalographic signals, and a robotic manipulator that executed movements of the stroke-affected arm. The study included three patient groups: the BCI group (N=8), where the brain-computer interface activated movements of the robotic manipulator; the No-BCI group (N=7), which performed a similar task without using the BCI; and a control group (N=7), which did not undergo training. The results showed that improvements on the Fugl-Meyer Assessment scale for upper extremities were 1.4 ± 1.6 points in the control group, 23.1 ± 11.8 points in the No-BCI group, and 27.6 ± 13.7 points in the BCI group. On the Action Research Arm Test (ARAT) scale, improvements reached 0.0 ± 0.0 points in the control group, 14.7 ± 20.6 points in the No-BCI group, and 20.6 ± 19.3 points in the BCI group. The proposed method facilitates motor restoration which under normal conditions requires the involvement of multiple cortical areas. This opens new opportunities for enhancing motor rehabilitation outcomes.

Keywords: stroke; rehabilitation; brain-computer interface; virtual reality; ischemic stroke.