

BCI (BRAIN-COMPUTER INTERFACE), ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ В НЕВРОЛОГИИ И ПСИХИАТРИИ

Бурлан А.Э., Денисенко А.С., Капралова И.С.

Научный руководитель: доктор медицинских наук В.В. Глущенко

ФГБОУ ВО «Новгородский государственный университет

имени Ярослава Мудрого», Институт медицинского образования

Brain-computer interface (BCI), или интерфейс мозг-компьютер – система, позволяющая отдавать команды компьютеру, для создания которой используются определенные сигналы, в том числе ЭЭГ и ЭМГ. За последние 15 лет темпы исследования BCI стремительно возросли и стали применяться в различных сферах жизни, в том числе и в медицине. Первые подобные интерфейсы начали появляться в 60–70-х годах XX века. Однако истоки данной технологии можно проследить еще раньше.

BCI базируется на декодировании сигналов ЭЭГ, ЭМГ, МЭГ и т.д.

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – это метод исследования головного мозга, основа которого состоит в регистрации его биоэлектрических потенциалов. В 1849 году Эмиль Генрих Дюбуа-Реймон впервые заявил о наличии токов в центральной нервной системе. В 1928 году в Австрии врач-психиатр Ганс Бергер первым зарегистрировал электрические потенциалы головного мозга человека. Для этого он применил скальповые игольчатые электроды. По выражению Е.Б. Алексеевой, «ЭЭГ представляет собой хаотический процесс, обусловленный суммацией электрических потенциалов, генерируемых многими миллионами нейронов, активность которых, в свою очередь, определяется хаотической синаптической бомбардировкой и, возможно, собственными колебаниями потенциала, обусловленными метаболическими процессами».

Магнитоэнцефалография (МЭГ) – это метод, предполагающий измерение и визуализацию магнитных полей, являющихся результатом биоэлектрической активности мозга. Для улавливания таких полей применяются высокоточные сверхпроводниковые квантовые интерферометры, или СКВИД-датчики. Первым исследователем, получившим магнитоэнцефалограмму, стал американский физик Дэвид Коэн.

Одним из применений МЭГ служит индикация очагов эпилептической активности. Кроме того, в 2007 году были получены данные об удачной классификации с помощью МЭГ таких заболеваний, как рассеянный склероз, болезнь Альцгеймера, шизофрения, синдром Шегрена, хронический алкоголизм.

Электромиография (ЭМГ, ЭНМГ, миография, электронейромиография) – это метод исследования электрических потенциалов, появляющихся в скелетных мышцах человека и животных в результате возбуждения мышечных волокон, то есть регистрация электрической активности мышц. В 1907 году в Германии метод электромиографии был впервые применен к человеку Хансом Пипером.

Как самостоятельная отрасль знаний ВСИ начали развиваться в 60–70-х годах прошлого столетия; это стало возможно благодаря появлению ЭВМ.

Основание для развития ВСИ уходит корнями в учение И.П. Павлова об условных рефлексах и регулирующей роли коры. Дальнейшее развитие этих положений прослеживается в работах П.К. Анохина, доказавшего, что принцип обратной связи служит основой регуляции всех реакций организма – от гомеостатических функций до высшей нервной деятельности. Связующим звеном между этими базисными учениями и разработкой ВСИ служит целый ряд исследований, наиболее показательными из которых можно считать работы Н.П. Бехтеревой с 1968 по 2008 гг. Они посвящены декодированию мозговых кодов психической деятельности. Эта тема до сих пор не исчерпана, поэтому год за годом ученики и последователи Н.П. Бехтеревой продолжают свои изыскания, выходя на междисциплинарный уровень и разрабатывая такие направления, как нейрокибернетика и офтальмонейрокибернетика.

Создание и изучение собственно ВСИ было начато в 70-х годах XX века в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. С тех пор было проведено множество длительных экспериментальных исследований на животных, и, наконец, в середине 1990-х годов состоялась первая имплантация в организм человека устройства, передававшего биологическую информацию от человеческого организма к компьютеру. Совершенствование и внедрение в практику таких устройств дало свой результат: ВСИ позволил восстанавливать нарушенные функции слуха, зрения и даже способность к движению. Работа ВСИ основана на нейрональной пластичности как одном из базисных, но малоизученных свойств центральной нервной системы. Только благодаря этой возможности имплантированное устройство может выполнять свое предназначение – быть источником биоинформации.

На данный момент используются два подхода в создании ВСИ. Первый – инвазивный, т.е. подход, предусматривающий имплантацию специальных электродов, имплантируемых в кору головного мозга, является наиболее точным, но имеет технические сложности. Поэтому сформировался другой, неинвазивный подход к созданию ВСИ. Современное применение и развитие данного направления включает регистрацию биоэлектрической активности и кровенаполнения головного мозга, учет глазодвигательной активности, применение методов ближней инфракрасной спектроскопии и др.

Несмотря на популярность ВСИ в современной медицине, многое еще предстоит исправить и систематизировать. Какой бы метод не применялся в конкретном исследовании, результаты в любом случае будут иметь некоторую степень приближенности, а в некоторых случаях, и недостоверности. Причинами могут быть:

- 1) при регистрации биоэлектрической активности – недостаточное число степеней свободы, то есть количества дифференцированно распознаваемых биоэлектрических сигналов;

- 2) при изучении глазодвигательной активности – «проблема царя Мидаса», то есть трудность дифференцирования произвольной и непроизвольной фиксации взгляда;

3) вне зависимости от избранного метода – отсутствие стандартных подходов к получению и трактовке результатов.

Тем не менее, анализируя сложившиеся принципы отдельных исследований, проводимых с использованием данной технологии, удастся выявить последовательность этапов, позволяющую понять сущность дизайна любого BCI:

1) предобработка (фильтрация, удаление артефактов);

2) обработка:

а) селекция – выделение с помощью математических алгоритмов наиболее важных характеристик сигнала;

б) редукция – уменьшение количества информации (уменьшение числа каналов, обрабатываемых параметров);

3) трансляция (перевод полученных характеристик в логические сигналы, классификация выбранных значений на основе различных методов статистического анализа);

4) постобработка (оценка совокупной эффективности ИМК, удаление наименее значимых параметров, увеличение быстродействия алгоритмов).

Технология BCI находит успешное применение в практике, это подтверждается множеством практически-ориентированных исследований. Однако большинство подобных исследований описывают лишь отдельные случаи применения BCI, тогда как убедительных попыток систематизировать практические направления использования BCI пока нет. Это связано с новизной и стремительным развитием данной технологии. Организаторы Второго международного совещания «Интерфейсы мозг-компьютер для коммуникации и контроля» отмечают, что в связи с междисциплинарностью технологии BCI специалистам разных областей, изучающим BCI, практически нечего обсудить. Тем не менее, попробуем выделить наиболее приоритетные направления применения интерфейсов мозг-компьютер в неврологии и психиатрии.

Во-первых, значительная часть исследователей сосредоточилась на разработке новых технологий связи и управления для людей с тяжелыми двигательными нарушениями (например, боковой амиотрофический склероз (БАС), инсульт, церебральный паралич и повреждение спинного мозга). В русскоязычной литературе это направление наиболее точно описывает термин «нейрореабилитация».

Примером развития этого направления может служить ИМКЭ кисти. Это реабилитационный тренажер с визуальной и кинестетической обратной связью, использующий нейрофизиологическую активность мозга для прямого управляющего воздействия на внешние приборы без включения типичных нейромышечных путей. В основе его действия лежит способность человека генерировать различные ЭЭГ-сигналы, в частности, μ -ритм на ЭЭГ в моторных зонах мозга, что позволяет «соединять мозг» с внешними устройствами. ИМКЭ использует ментальные двигательные представления выполнения активных движений, а они, в свою очередь, повышают активность моторных зон коры больших полушарий. То есть принципом эффективности применения BCI в данном случае является идеомоторная тренировка, иначе – мысленная

тренировка. При этом взаимодействие человека с ВСІ может происходить визуальным или кинестетическим способом в зависимости от представления воображаемого действия от третьего или первого лица.

В основе другого направления лежит предоставляемая современными ВСІ возможность использовать ЭЭГ-активность или кортикальную активность одиночных нейронов, чтобы управлять движением курсора, выбирать буквы или значки или управлять нейропротезами.

Например, создание нейропротеза MoreGrasp включает в себя сеансы скрининга ВСІ, на которых изучаются паттерны ЭЭГ, связанные с единичными естественными движениями верхней конечности. Эти паттерны впоследствии используются для управления нейропротезом. Нейропротез MoreGrasp состоит из электродных матриц, встроенных в индивидуальный текстильный рукав предплечья. Функциональные результаты применения такого нейропротеза на практике сейчас оцениваются в рамках клинического исследования.

Еще одним принципиально новым и чрезвычайно актуальным направлением применения ВСІ является разработка путей его воздействия на организм на клеточном и даже молекулярном уровне. Недавние исследования доказали способность ВСІ индуцировать апоптоз клеточных линий немелкоклеточного рака легких. Это исследование представляет значительную ценность в том числе и как доказательство возможности воздействия ВСІ не только на нервную передачу импульсов, но и на преимущественно гуморальные процессы. Важнейшим выводом, подтверждающим эту идею, является то, что ВСІ индуцирует апоптоз посредством генерации активных форм кислорода и активации внутреннего пути в клетках. Такое заключение позволяет предположить перспективу применения ВСІ для лечения неврологических и психических заболеваний, в основе которых лежат аутоиммунные и метаболические нарушения.

Таким образом, интерфейс мозг-компьютер (ВСІ) является технологией, заключающей в себе не только множество перспектив для применения в неврологии и психиатрии, но и немалое количество вопросов. Первое подтверждается множеством практических возможностей, сочетающихся с высокой потребностью их воплощения в связи с отсутствием достаточно эффективных методов лечения той или иной патологии. Доказательством второго является отсутствие системного подхода к изучению технологии ВСІ, причем не только в медицинском аспекте, что указывает на значительное поле для дальнейшего расширения наших знаний об этой технологии.

Список литературы

1. Алексеева Е.Б. Учебно-методическое пособие по психофизиологии для студентов специальности «Клиническая психология». – Краснодар: КММИВСО, 2018. – 194 с.
2. Бушкова Ю.В. Технология интерфейса мозг-компьютер как контролируемый идеомоторный тренинг в реабилитации больных после инсульта / Ю.В.

Бушкова, Г.Е. Иванова, Л.В. Стаховская, А.А. Фролов // Вестник РГМУ. – № 6. – 2019. – С. 28-34.

3. Шишкин С.Л. Улучшение работы интерфейса глаз-мозг-компьютер при использовании частотных компонентов электроэнцефалограммы / С.Л. Шишкин [и др.] // Вестник РГМУ. – 2016. – № 2. – С. 39-44.

4. Johnson S.H., Sprehn G., Saykin A.J. Intact motorimagery in chronic upper limb hemiplegics: evidence for activity-independent action representations // Journal of Cognitive Neuroscience. – 2002. – 14 (6). – pp. 841-852.

5. Muller-Putz G.R. Applying intuitive EEG-controlled grasp neuroprostheses in individuals with spinal cord injury: Preliminary results from the MoreGrasp clinical feasibility study / G.R. Muller-Putz, R. Rupp, P. Ofner, J. Pereira, A. Pinegger, A. Schwarz, M. Zube, U. Eck, B. Hensing, M. Schneiders // 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). – 2019 Jul; 2019:5949-5955. doi: 10.1109/EMBC.2019.8856491.

6. Shin J.W. BCI induces apoptosis via generation of reactive oxygen species and activation of intrinsic mitochondrial pathway in H1299 lung cancer cells / J.W. Shin, S.B. Kwon, Y. Bak, S.K. Lee, D.Y. Yoon // Science China Life Sciences. – 2018 Oct. – 61(10). – pp. 1243-1253. doi: 10.1007/s11427-017-9191-1.

7. Vaughan T.M. Guest editorial brain-computer interface technology: a review of the second international meeting // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – Vol. 1. – Issue 2. – June 2003. – pp. 94-109.