

Устройство фиксирования момента мышечной активности на электроэнцефалограмме при анализе когнитивных вызванных потенциалов

О.И. Антипов, В.А. Мачихин

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
443010, Российская Федерация, г. Самара
ул. Л. Толстого, 23

В статье описывается работа предлагаемого устройства фиксирования момента мышечной активности на электроэнцефалограмме, которое позволит выделять вызванные потенциалы, появляющиеся в коре головного мозга при сложных мультимодальных стимуляциях с целью использования результатов при создании нейроинтерфейсов. Устройство позволяет использовать любой регистратор электроэнцефалограмм для целей выделения вызванных потенциалов, применяемых в нейроинтерфейсах. Приводится описание самого устройства и принципов его работы. Показаны некоторые результаты применения устройства, которые проводятся в рамках программы разработки интерфейсов «мозг-компьютер».

Ключевые слова: электроэнцефалография, нейрокомпьютерные интерфейсы, вызванные потенциалы, мультимодальная стимуляция, устройства регистрации.

Введение

В настоящее время развиваются исследования вызванных потенциалов с использованием электроэнцефалографии [1–6].

Считается, что вызванные потенциалы являются индикаторами электрических процессов работы мозга, связанных с механизмами восприятия информации и ее обработки. При выделении ответов на значимые стимулы на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) будет появляться позитивная волна в области 300 мс после подачи значимого стимула (это и есть Р300) [4]. Методика Р300 основывается на подаче в случайной последовательности серии из значимых и незначимых стимулов [1–6]. Значимыми называются те стимулы, на которые должен реагировать испытуемый.

Для выявления когнитивных вызванных потенциалов на значимые стимулы можно использовать целый ряд современных электрофизиологических комплексов. Однако существующие неспециализированные комплексы осуществляют лишь постоянный съем электромиограммы, при этом не выделяя четко момент времени сокращения мышц.

Для проведения опытов по обнаружению моторной реакции, чтобы получить более точную картину ответа мозга на значимые стимулы сле-

дует создать комплекс, способный обеспечить точность при снятии электромиограммы (ЭМГ), способный при этом ставить метки времени стимуляции [1–19]. Соответственно необходимое устройство или электрод, должно подключаться к ЭМГ-регистратору в момент проведения опыта. При этом, в момент, связанный с конкретным событием, например, нажатием испытуемым кнопки, на электроэнцефалограмме должна ставиться соответствующая метка

Для этого было разработано устройство, которое подключается к миографическому каналу электроэнцефалографа и при подаче значимого стимула подает метки на электромиограмму.

Устройство икножного регистратора миографической активности

Общий вид данного устройства показан на рис. 1, а, а его основные элементы показаны на рис. 1, б. Устройство фиксирования момента мышечной активности на электроэнцефалограмме состоит из прямоугольного подстопа (1) для установки ноги (2) испытуемого, который прикреплен к четырем вертикальным опорам (3), расположенным по его углам. Верхние концы опор (3) скреплены между собой тремя рейками (4), в двух из которых имеются два отверстия (5) для крепления к ним с помощью

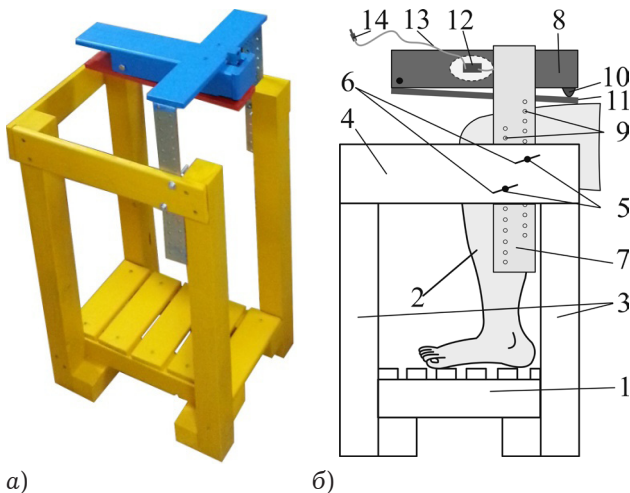


Рис. 1. Общий вид устройства для фиксации момента мышечной активности на электроэнцефалограмме (а) и указание расположения его основных компонентов (б)

винтов (6) П-образной штанги (7) с регистрирующим блоком (8); на обоих длинных плечах П-образной штанги (7) на разных уровнях симметрично расположены по два отверстия (9) для прикрепления ее к рейкам (4) на разной высоте в зависимости от конституционных особенностей испытуемого. Регистрирующий блок (8) имеет кнопку (10), рычаг (11). Внутри него расположена гальваническая развязка (12), которая через провод (13) соединена с выходным штекером (14) для подключения устройства к свободному каналу электроэнцефалографа.

Работа устройства происходит следующим образом: прибор подключается к электроэнцефалографу, а нога испытуемого ставится внутрь и фиксируется. После, когда происходит подача значимого стимула испытуемому, он сокращает икроножную мышцу и происходит подача метки на свободный канал ЭЭГ-регистратора. Одновременно с этим снимается электроэнцефалограмма головного мозга на которой отображается метка и позволяет в последующем выявить участки ЭЭГ предшествующие моменту движения. При последующем анализе данных участков ЭЭГ выявляются моторные вызванные потенциалы.

Ногу (2) испытуемого пациента располагают таким образом, чтобы стопа плотно прилежала к подстопнику (1), а передняя часть бедра касалась рычага (11). Штекер (14) при этом подключается к свободному каналу электроэнцефалографа. При необходимости, высота расположения регистрирующего блока (8) с рычагом (11) и кнопкой (10) относительно ноги (2) пациента регулируется с помощью перемещения П-образной штанги (7) по рейкам и фиксации ее к ним с помощью винтов. Пациенту подается определенный сигнал, например, короткий звуковой щелчок с заранее оговоренной тональностью или кратковременная вспышка. В момент подачи сигнала, пациент должен производить нажатие передней поверхностью бедра на рычаг (11). При этом рычаг давит на кнопку (10) регистрирующего блока (8), который через гальваническую развязку (12), провод (13) производит подачу сигнала на свободный канал электроэнцефалографа.

Одним из главных элементов устройства для фиксации момента мышечной активности является гальваническая развязка, которая предназначена для предотвращения прямой электрической связи между электроэнцефалографом и пациентом, что обеспечивает безопасность как самого испытуемого, так и защиту электроэнцефалографа от нежелательных уровней сигнала и помех. На рис. 2 показана упрощенная электрическая принципиальная схема гальванической развязки.

Работа гальванической развязки происходит следующим образом. При подаче каких-либо воздействий испытуемый сокращает икроножную мышцу. При этом будет производиться замыкание ключа SA1 на электрической схеме устройства, расположенной в одном корпусе с кнопкой (10) и через электроды XR1 и XR2 гальванически развязанный сигнал малого уровня подается на свободный канал ЭЭГ-регистратора. Это позволяет регистрировать момент сокращения икроножной мышцы обследуемого

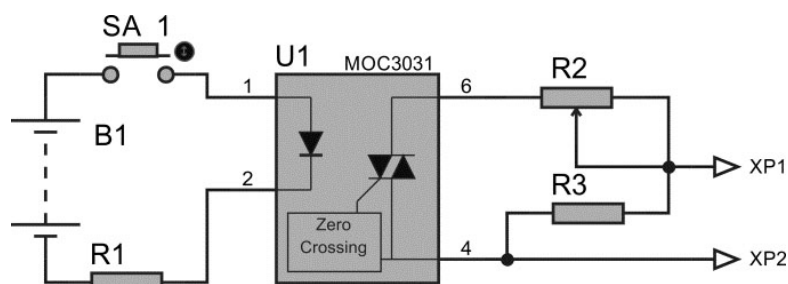


Рис. 2. Упрощенная электрическая принципиальная схема гальванической развязки

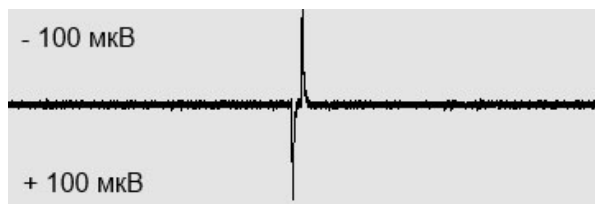


Рис. 3. Вид метки на электроэнцефалограмме, соответствующей срабатыванию датчика движения после отфильтровывания наводок методом БПФ

пациента для дальнейших электрофизиологических исследований его моторных и идеомоторных вызванных потенциалов [6]. С точки зрения безопасности гальваническая развязка, организованная на оптопаре U1 позволяет разделить цепь маловольтного и маломощного источника питания В1 от электродов ХР1 и ХР2 идущих к электроэнцефалографу, подключаемого к обследуемому пациенту. Резистор R1 предназначен для ограничения тока во входной цепи оптопары U1. Резисторный делитель напряжения R2–R3 позволяет ограничить величину метки, подаваемой к электроэнцефалографу. SA1 – ключ, фиксирующий факт движения обследуемого пациента. Также, гальваническая развязка позволяет минимизировать уровень внешних помех.

При срабатывании устройства на свободный канал ЭЭГ-регистратора подается метка, вид которой показан на рис. 3. Вне зависимости от используемых в ЭЭГ-регистраторе типов входных фильтров, в том числе и отсекающих постоянную составляющую как источника плавающих потенциалов, момент начала метки фиксируется с точностью до 0.001 секунды, что позволяет получить максимальную информативность при частоте выборки ЭЭГ-регистратора до 1000 отсчетов в секунду.

Кнопка регистрирующего блока позволяет точно зафиксировать момент нажатия на рычаг бедра испытуемого. Точность исследований достигается четкой фиксацией момента совершенного движения устройством путем подачи электрической метки определенного уровня на электроэнцефалограф в отличие от аналогов, где регистрируется любая мышечная активность, даже не связанная с непосредственным значимым движением. Для проведения исследований не требуется расходных материалов, таких как проводящий гель, одноразовые электроды, средств для дезинфекции многократных элект-

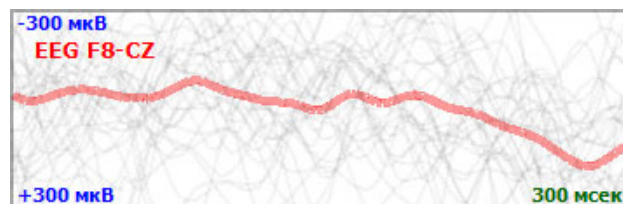


Рис. 4. Выделенный усредненный сигнал по одному из каналов ЭЭГ (F8-CZ), полученный наложением участков ЭЭГ предшествующих моментам установки метки при срабатывании устройства, соответствующим совершенным когнитивным действиям испытуемого по результатам фиксирования 37 движений. Толстой линией показано среднее значение, показывающее динамику развития моторного паттерна на данном канале

родов и обработки кожи испытуемого, что удешевляет и ускоряет процесс исследования.

В качестве иллюстрации результатов использования устройства на рис. 4 показан выделенный сигнал, полученный путем усреднения по сигналам данного канала, предшествующих 37 движениям. Множество снимаемых сигналов со всей скальповой поверхности от электродов, расположенных в соответствии с известными международными системами 10–20 и 10–10 позволят получить более полную картину формирования когнитивного паттерна. На само устройство подана заявка на патент.

Заключение

Устройство для регистрации движения конечности человека можно использовать в электрофизиологических исследованиях для выявления моторных и идеомоторных вызванных потенциалов [1–6]. Таким образом, данный прибор стимуляции позволяют выявить реакцию головного мозга на значимые вызванные потенциалы, что в отличие от существующих медицинских диагностических устройств, позволяет определить когнитивную реакцию мозга (осмысленную деятельность и концентрацию внимания). Данные исследования впоследствии могут быть использованы для разработки индивидуальных нейроинтерфейсов и для диагностики неврологических расстройств [7–22]. Неинвазивность исследования с помощью данного устройства повышает его комфортность для испытуемого при исследованиях и дальнейших использованиях результатов. Устройство фиксации момента мышечной активности на электроэнцефалограмме было запатентовано коллективом авторов [23].

Список литературы

1. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая энцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга). М.: МЕДпресс-информ, 2004. 624 с.
2. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. М.: Инфра-М, 2010. 639 с.
3. Наатанен Р. Внимание и функции мозга. М.: МГУ, 1998. 560 с.
4. Кропотов Ю.Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия. М.: Донецк, 2010. 512 с.
5. Основанный на воображении движения интерфейс мозг – компьютер в реабилитации пациентов с гемипарезом / О.А. Мокиенко [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12. № 2. С. 30–35.
6. Интерфейс мозг-компьютер «на волне Р 300»: исследование эффекта номера стимулов в последовательности их предъявления / И.П. Ганин [и др.] // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 5–13.
7. Информационные возможности использования мю- и бета-ритмов ЭЭГ доминантного полушария в конструировании нейрокомпьютерного интерфейса / В.Ф. Пятин [и др.] // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–5. С. 975–978.
8. Особенности постуральных нарушений у больных рассеянным склерозом / А.В. Захаров [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2014. Т. 114. № 2–2. С. 55–58.
9. Исследование частотных диапазонов для пейсмейкеров иррадиационных явлений при световых воздействиях на сетчатку глаза человека путем анализа результатов применения фрактальных мер к ЭЭГ-сигналам / О.И. Антипов [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 3. С. 90–95.
10. Антипов О.И., Захаров А.В., Пятин В.Ф. Сравнение возможностей фрактальных методов обработки ЭЭГ для обнаружения изменения в активности головного мозга при разной внешней освещенности // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 2. С. 57–63.
11. Захаров А.В., Антипов О.И., Хивинцева Е.В. Полисомнографические характеристики сна у пациентов с фибромиалгией // Российский журнал боли. 2014. № 1(42). С. 58–59.
12. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Сравнение скорости и точности фрактальных методов детерминированного хаоса применительно к распознанию стадий сна // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. № 2–1(90). С. 9–14.
13. Антипов О.И., Неганов В.А., Захаров А.В. Устройство для выявления стадий сна при полисомнографии // Патент Российской Федерации № 122271, 2012.
14. Антипов О.И., Захаров А.В., Неганов В.А. Особенности применения фрактальных мер детерминированного хаоса к автоматизированному распознаванию стадий сна при полисомнографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 101–109.
15. Волобуев А.Н., Антипова Т.А. Нелинейная генетика. Инбридинг и генетический груз // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2013. Т. 16. № 4. С. 70–74.
16. Антипов О.И., Куляс М.О., Неганов В.А. Беспроводной двухканальный электроэнцефалограф // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 2. С. 64–75.
17. Волобуев А.Н., Антипова Т.А. Анализ аннигиляции позитрона и электрона и дополнительные возможности позитронно-эмиссионной томографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2014. Т. 17. № 4. С. 75–80.
18. Антипов О.И., Неганов В.А. Анализ и предсказание поведения временных рядов самоорганизованных экономических и биологических систем с помощью фрактальных мер // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 3. С. 78–89.
19. Захаров А.В. Технические проблемы полисомнографии и способы уменьшения их влияния при применении фрактальных мер к построению полисомнограмм // Аспирантский вестник Поволжья. 2013. № 5–6. С. 23–25.
20. Возможности различных методов автоматического распознавания стадий сна / О.И. Антипов [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т. 8. № 2. С. 374–379.
21. Фрактальный анализ динамики цен на драгоценные металлы / О.И. Антипов [и др.] // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2011. Т. 14. № 2. С. 110–116.
22. Антипов О.И., Неганов В.А., Панферова Т.А. Нелинейная динамика и хаотические явления в нематическом жидком кристалле // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2006. Т. 9. № 4. С. 76–87.
23. Устройство для регистрации движения конечности человека / О.И. Антипов [и др.]. Заявка на пат. рег. № 2015126811.

The device fixing the date of muscle activity in the electroencephalography in the analysis of cognitive evoked potentials

O.I. Antipov, V.A. Machihin

The article describes the operation of the device fixing the date of muscle activity on the electroencephalogram, which will allow to allocate evoked potentials appearing in the cerebral cortex in complex multimodal stimulations in order to use the results to create neurointerface. The device allows you to use any of the electroencephalography registrar for the purposes of allocation of evoked potentials used in neurointerface. The description of the device and how it works. Showing some of the results using the device, which are held within the framework of the development of interfaces «brain-computer».

Keywords: electroencephalography, brain-computer interface, evoked potentials, multimodal stimulation, registration devices.
