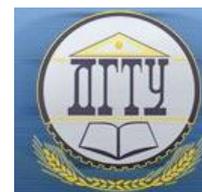


ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 615.471

Разработка устройства для регистрации эпилептических приступов на основе изменений физиологических параметров организма

В.А. Юрченко, М.М. Ханукаев

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Аннотация. Рассмотрено устройство для регистрации эпилептических приступов, созданное на основе учета изменений физиологических параметров организма (частота сердечных сокращений, кожно-гальваническая реакция). Описаны принцип его действия, структурная схема и примерный перечень содержащихся в нем элементов. Проанализированы отечественные и иностранные научные исследования по данной тематике, изучены уже существующие подобные устройства, названы их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: неврологические заболевания, эпилепсия, эпилептический приступ, нарушения сердечного ритма, электропроводность кожи

Development of a device for recording epileptic seizures based on changes in the physiological parameters of the body

Vladimir A. Yurchenko, Maksim M. Khanukaev

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Abstract. This article describes the development of a device for recording epileptic seizures based on changes in the physiological parameters of the body: heart rate, galvanic skin reaction. The paper provides the description of the principle of its operation, a block diagram and an approximate list of elements. Domestic and foreign scientific research on this subject, as well as existing devices, are considered and analyzed, their advantages and disadvantages are indicated.

Keywords: neurological diseases, epilepsy, epileptic seizure, cardiac arrhythmias, electrical conductivity of the skin

Введение. Цель данной статьи — разработка устройства на базе микроконтроллера, предназначенного для регистрации предэпилептического состояния, с функцией оповещения. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть понятия «эпилепсия» и «эпилептический приступ» и классификацию Международной противэпилептической лиги (МПЭЛ).
2. Проанализировать классические методы регистрации эпилептических приступов.
3. Изучить результаты исследований о возможности регистрации эпилептического приступа на основе изменения физиологических параметров организма.
4. Рассмотреть существующие разработки устройств регистрации эпилептических приступов.
5. Разработать систему регистрации эпилептических приступов.

Основная часть. Эпилепсия — это хроническое неврологическое заболевание, которое характеризуется рецидивирующими эпилептическими приступами, вызванными непредсказуемыми электрическими разрядами в мозге. Эпилептические приступы являются одним из наиболее распространенных неврологических заболеваний, которые существенно ухудшают качество жизни больных и могут привести к серьезным осложнениям. В настоящее время МПЭЛ выделяет следующие основные виды эпилептических приступов (рис. 1) [1].



Рис. 1. Основные виды эпилептических приступов по классификации МПЭЛ

Существует несколько методов диагностики и мониторинга эпилепсии, включая электроэнцефалограмму (ЭЭГ), магнитно-резонансную томографию (МРТ) и мониторинг видеозлектроэнцефалограммы (ВЭЭГ). Однако эти методы имеют ограничения, такие как высокая стоимость, необходимость проведения процедур в клинике, а также ограничения по продолжительности мониторинга.

Отечественные и зарубежные исследователи ищут взаимосвязь между эпилептическим приступом и такими физиологическими параметрами человека, как частота сердечных сокращений (ЧСС) и сопротивление кожи.

Так, группа российских учёных изучала частоту возникновения нарушений сердечного ритма у 79 пациентов с подтверждённым диагнозом «фокальная эпилепсия» с помощью длительного ЭКГ-мониторинга [2]. Результатом после 12 месяцев наблюдений стали данные, представленные на рис. 2.



Рис. 2. Изменение сердечного ритма во время приступа эпилепсии

47 из 79 пациентов (59,49 %) имели синусовую тахикардию с повышенным ЧСС до 100–200 уд/мин. Три пациента (3,8 %), напротив, имели синусовую тахикардию со сниженным ЧСС до 45 уд/мин. У 14 пациентов (17,7 %) зафиксировали наджелудочковую эктопическую активность. В четырех случаях (5,1 %) было выявлено преждевременное возбуждение сердца — желудочковая экстрасистолия. Два пациента (2,5 %) имели длительные эпизоды асистолии. В девяти случаях (11,5 %) у пациентов не было зафиксировано изменений сердечного ритма во время эпилептического приступа.

Полученные данные интерпретируются исследователями так: у 70 пациентов из 79 (то есть у 88,6 % испытуемых) во время эпилептического приступа были зарегистрированы изменения ЧСС.

Британские учёные из Королевского колледжа Лондона провели метаанализ на основе 19 исследований и 1115 эпилептических приступов [3]. Их результаты: в 82 % рассмотренных случаев отмечено увеличение электрической активности кожи до и во время эпилептического приступа. Причём в зависимости от типа приступа значения изменялись на разную величину, это даёт возможность не только фиксировать факт наступления эпилептического припадка, но и определять его тип.

Эти и другие исследования предлагают теоретическое обоснование для создания устройства регистрации и оповещения о начале эпилептического приступа без использования электроэнцефалографии [4].

Перед описанием собственной разработки авторы предлагают рассмотреть аналоги. В Институте инженеров электротехники и электроники (IEEE, США) создали пилотный проект устройства регистрации приступа эпилепсии на основе экзосоматического метода измерения электрической активности кожи [5]. Внешний вид устройства представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид устройства регистрации приступа эпилепсии на основе экзосоматического метода измерения электрической активности кожи

Испытания велись над группой, состоящей из семи пациентов, имевших подтверждённый диагноз «эпилепсия». Во время испытаний дополнительно велась видеозапись, ее позже показали эпилептологам, которые подтвердили наличие приступов. При этом специалисты не знали о результатах съёма электрической активности кожи пациентов. Сравнив полученные данные и показания экспертов, исследователи пришли к выводу, что в почти 74 % случаев устройство правильно регистрировало начало эпилептического приступа.

Американская компания Empratica выпускает своё устройство под названием Embrace2. Данная разработка разрешена к использованию министерством здравоохранения и социальных служб США (FDA). Производитель заявляет о самой высокой точности показаний среди носимых устройств [6]. Embrace2 фиксирует электрическую активность кожи человека, его температуру, а также скорость и направление движений с помощью акселерометра и гироскопа. Подключение и оповещение о приступе осуществляется с помощью технологии Bluetooth на смартфоне пользователя. После регистрации приступа устройство посредством смартфона оповещает об этом выбранных людей, родственников или медицинский персонал. Внешний вид устройства представлен на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид Empratica Embrace2 [6]

Несмотря на все достоинства, устройство не лишено недостатков:

1. Для функционирования необходима платная подписка.

2. Как отмечают пользователи, заявленная высокая точность показаний не всегда соответствует действительности.

3. Алгоритмы регистрируют не все виды эпилептических приступов.

Предлагаемое в данной статье устройство использует другой принцип работы. Структурная схема показана на рис. 5.

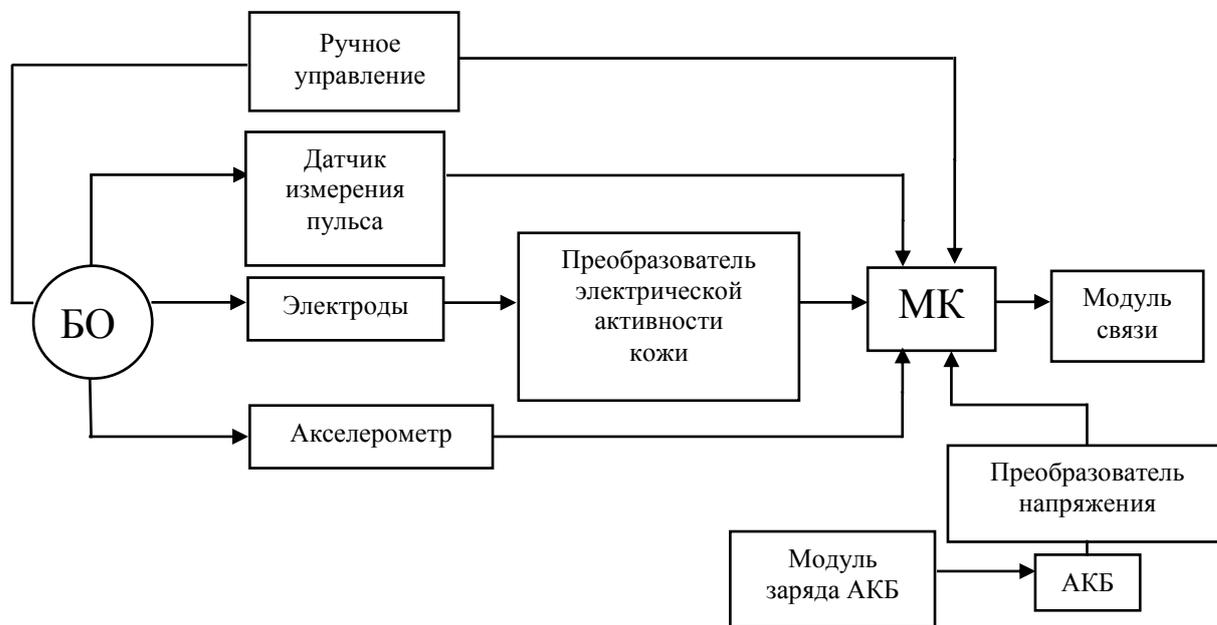


Рис. 5. Структурная схема устройства регистрации приступа эпилепсии

Устройство отслеживает ЧСС пациента, электрическую активность его кожи и движения с помощью акселерометра. Собранные данные передаются на устройство для обработки, где происходит фильтрация шума и преобразование данных в удобный для анализа формат. Алгоритм использует эти данные для определения вероятности того, что происходит эпилептический приступ. Если будет зарегистрировано резкое изменение показателей или превышение пороговых значений определённой комбинации датчиков, микроконтроллер отправляет сообщение с координатами пациента, а также совершает звонок на избранные контакты. Предусмотрено ручное управление модулем связи на случай того, что пациент заметит у себя признаки приближающегося приступа.

Измерение ЧСС производится с помощью сенсорного модуля MAX30102, работающего на основе метода пульсоксиметрии. Модуль содержит датчик, имеющий два светодиода (красного и инфракрасного диапазонов), а также фотоприёмник. Располагающаяся на MAX30102 схема первичной обработки отличается низким уровнем собственных шумов и частично подавляет внешнюю засветку фотоприёмника. Модуль можно перевести в спящий режим с очень малым токопотреблением, что положительно скажется на энергозатратах всей системы. Изображение MAX30102 представлено на рис. 6.

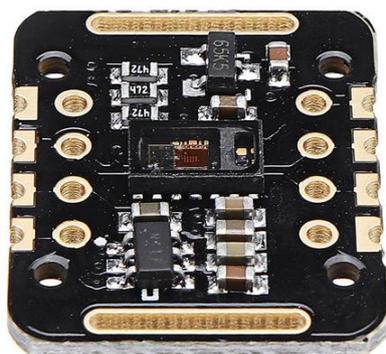


Рис. 6. Сенсорный модуль MAX30102

Изучение кожно-гальванической реакции (КГР) началось в XIX веке: в 1888 году французский врач Карл Фере зафиксировал изменения электрического сопротивления кожи при пропускании через нее слабого тока, а в 1889 году российский физиолог И. Р. Тарханов зарегистрировал разность потенциалов между разными точками на коже человека. Измерение КГР получило широкое распространение в психофизиологии, электрическая активность кожи является одним из показателей, регистрируемых полиграфом. Электрическая активность кожи фиксируется благодаря датчику кожно-гальванической реакции Grove-GSR Sensor. К пациенту подключаются два никелированных электрода, полученные значения сопротивления поступают на входы инструментального усилителя, выполненного на основе 3 ОУ LM324PW. Электрическая активность кожи обусловлена работой потовых желёз, которые под воздействием внешних раздражителей или стресса выделяют жидкость, следовательно, изменяется сопротивление кожи и разность её потенциалов. Датчик отличается высокой чувствительностью, выходной сигнал регулируется с помощью потенциометра. Изображение данного устройства представлено на рис. 7.

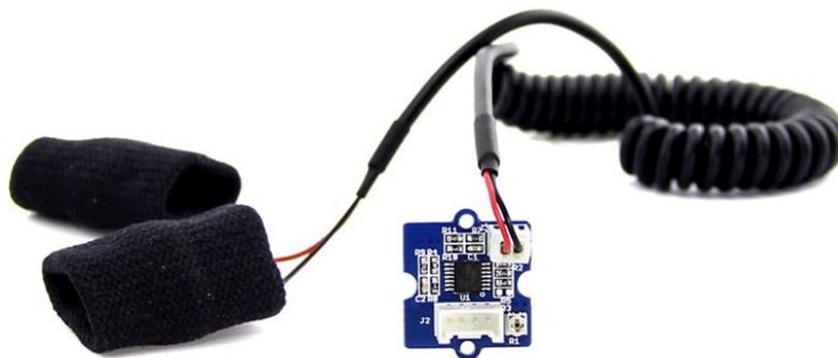


Рис. 7. Модуль Grove-GSR Sensor

Движения пациента, их величина и частота измеряется с помощью акселерометра Keystudio ADXL345. Он позволяет измерять ускорение величиной до ± 16 g, максимальное разрешение — 13 бит, частота измерения — до 3200 Гц. Отличается низким энергопотреблением (до 140 мкА), напряжение питания в диапазоне 2–3,6 В. Акселерометр поддерживает два распространённых интерфейса связи, SPI и I2C, а также имеет два выхода прерываний и встроенный буфер для хранения данных. Изображение модуля представлено на рис. 8.

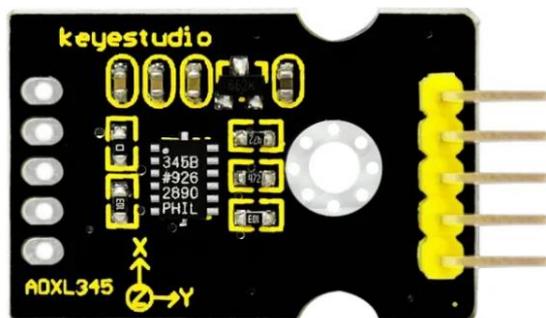


Рис. 8. Акселерометр Keystudio ADXL345

В качестве модуля связи выбран SIMCom SIM800L, обеспечивающий стабильную GSM-связь в широком диапазоне частот и устойчивый сигнал за счёт выносной антенны. Подключение к схеме идёт по протоколу UART с автоматической настройкой скорости передачи данных. Изображение данного устройства представлено на рис. 9.



Рис. 9. Модуль связи SIMCom SIM800L

Анализ полученных данных и управление всей системой выполняет микроконтроллер ATmega328P, входящий в семейство микроконтроллеров AVR. Возможностей данного микроконтроллера хватит на подключение всех необходимых модулей, а также останется запас на дальнейшую модернизацию всей системы. Изображение данного устройства представлено на рис. 10.

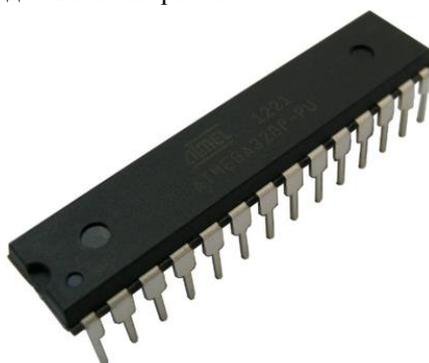


Рис. 10. Микроконтроллер ATmega328P

Благодаря большому количеству отслеживаемых параметров практически исключается возможность нерегистрации эпилептического приступа. Устройство имеет строгий алгоритм, что позволяет избежать ложных срабатываний, например, при простых движениях человека (походка, взмах рукой, кашель или лёгкая физическая нагрузка). Система не использует подключение к Bluetooth, что исключает установку дополнительного ПО на смартфон пользователя и его настройку. Устройство носится на руке и имеет вид наручных часов. Датчик для регистрации ЧСС и электроды располагаются на нижней части корпуса, плотно прилегая к поверхности кожи пациента. Прототип внешнего вида устройства представлен на рис. 11 и 12.



Рис. 11. Прототип внешнего вида устройства (фото авторов)

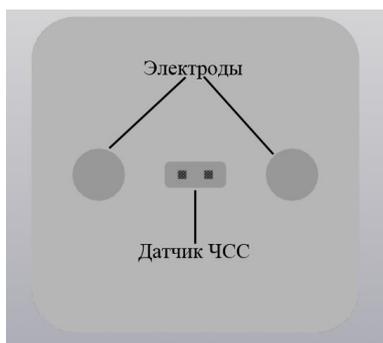


Рис. 12. Прототип внешнего вида устройства: расположение датчиков (сконструировано авторами)

Одним из основных преимуществ этого устройства является возможность индивидуальной настройки параметров, т. н. пороговых значений, которые могут быть подобраны для каждого пациента отдельно, в зависимости от его индивидуальных потребностей. Кроме того, устройство может применяться как в домашних условиях, так и в медицинских учреждениях.

Заключение. Таким образом, разработка нового устройства регистрации эпилептических приступов на основе изменения физиологических параметров организма является актуальной и перспективной задачей, которая имеет большую практическую значимость. Новое устройство обладает значительными преимуществами по сравнению с ранее разработанными, так как учитывает особенности изменения физиологических параметров во время эпилептических приступов, а также имеет возможность индивидуальной настройки параметров для каждого пациента. Это может привести к более точной и надёжной детекции эпилептических приступов и повышению качества жизни пациентов с эпилепсией.

Список литературы

1. Авакян Г.Н., Блинов Д.В., Лебедева А.В. и др. Классификация эпилепсии Международной противоэпилептической лиги: пересмотр и обновление 2017 года. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2017;9(1):6–25.
2. Рублёва Ю.В., Сердюк С.Е., Терян Р.А. и др. Нарушения ритма и проводимости сердца у больных эпилепсией в иктальном периоде: частота возникновения, предикторы развития. *Российский кардиологический журнал*. 2018;23(7):26–31.
3. Ortega M.C., Elisa Bruno, Richardson Mark P. Electrodermal activity response during seizures: A systematic review and meta-analysis. *Epilepsy&Behavior*. 2022;134(3).
4. Юрченко В.А. *Изменение физиологических параметров организма при эпилептическом приступе*. В: Исследование различных направлений современной науки: сб. трудов VII Междунар. науч. конф. Москва; 2022. Т. 1. С. 102–108.
5. Ming-Zher Poh, Loddenkemper T., Swenson NC, Shubhi Goyal, Madsen JR, Picard RW. Continuous monitoring of electrodermal activity during epileptic seizures using a wearable sensor. In: *Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*. New York: IEEE; 2010. P. 4415–8.
6. *Embrace2 Seizure Monitoring*. URL: <https://www.empatica.com/embrace2/> (дата обращения: 02.03.2023).

Об авторах:

Юрченко Владимир Александрович, студент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), 79282562934@yandex.ru

Ханукаев Максим Михайлович, доцент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), puristeril@gmail.com

About the Authors:

Vladimir A. Yurchenko, Bachelor's degree student of the Instrumentation and Biomedical Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), 79282562934@yandex.ru

Maksim M. Khanukaev, associate professor of the Instrumentation and Biomedical Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), puristeril@gmail.com