

Медицинская Электроника: Состояние, Проблемы и Перспективы

Шакир Мехтиев¹, Бикес Агаев²

Институт Информационных Технологий, НАНА, Баку, Азербайджан

¹shakir@iit.ab.az, ²depart6@iit.ab.az

Аннотация– Рассмотрены применение медицинской электроники, состояние и перспективы использования. Приведены различные виды устройств медицинской электроники, дана их классификация.

Ключевые слова– медицинская электроника, электронные устройства в медицине, роботизированная хирургия, 3D-печать, дроны, мобильная медицина, домашняя медицина.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из слагаемых качества и доступности медицинской помощи является научно-технический уровень применяемых методов лечения, диагностики и профилактики [1]. Однако в практике мировой медицины известен период, когда не применялись диагностические приборы или инструментальные методы обследования больного (пациента). При постановке диагноза врач исходил из результатов опроса больного, прощупывания пульса, осмотра кожи, глаз и языка больного. Температуру тела определяли эмпирически приложением руки вплоть до второй половины XIX века.

На развитие диагностической медицины большую роль оказали изобретения ртутного термометра (1714) и стетоскопа (1816).

В XIX веке начинается отсчет основных научных открытий в области электричества и магнетизма, которые стали использоваться в медицинской практике, возможно, раньше, чем в других областях жизнедеятельности человека.

Так, например, было с открытием в 1895 году Рентгеном (W.C.Röntgen) икс-излучения X-гау во время опытов с первой электровакуумной трубкой Крукса. Уже в 1896 году начинается применение рентгенографии в медицине.

Первый электрокардиограф, сконструированный Эйнтховеном (W.Einthoven) в 1901 году, был измерительным прибором из группы милливольтметров [2]. Его вес составлял около 270 кг и требовал для обслуживания нескольких человек. В качестве электродов использовались стеклянные сосуды с раствором хлористого натрия, куда опускались руки и нога пациента.

В XX веке продолжилось внедрение в диагностическую и терапевтическую медицинскую практику новейших достижений электронной техники. Несомненно, в этом большую роль сыграли развитие полупроводниковой микроэлектроники и появление компьютерных технологий.

II. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

В настоящее время информативные признаки физиологического состояния организма человека стремятся представить электрическим сигналом.

Информацию, представленную электрическим сигналом, удобно преобразовать в цифровой двоичный код, автоматически регистрировать и передавать на расстояние, а также обрабатывать математическими методами и алгоритмами и длительно хранить в компьютерных системах (персональные компьютеры, центры обработки данных). Для осуществления указанных задач в медицинской практике используются различные электронные устройства, которые тривиально можно разделить по группам заболеваний или по областям медицины.

В то же время, исходя из общепринятых целей медицины, устройства медицинской электроники можно разделить на:

- профилактические;
- диагностические;
- лечебные;
- реабилитационные;
- хирургические.

По принципам действия можно выделить следующие основные устройства медицинской электроники:

- устройства для получения (съема), передачи и регистрации медицинской информации (мониторинговые системы);
- устройства, обеспечивающие ограниченное воздействие на организм человека различных физических факторов (ультразвук, лазеры, электромагнитные поля и др.);
- компьютеры для обработки и хранения информации, а также управления процессами, обеспечивающими жизнедеятельность органов человека.

Развиваются новые направления медицинской электроники, такие как: мобильная медицина (mHealth), представленная широкой гаммой электронных устройств-гаджетов; биомедицинское протезирование для восстановления или замены органов человека; 3D-прототипирование; медицинская робототехника для проведения сложнейших хирургических операций и выполнения функций сестер-сиделок (уход за больными или престарелыми людьми) [3].

В качестве элементной базы устройств медицинской электроники используется одновременно несколько поколений электронной технологии:

- вакуумная (СВЧ-лампы, магнетроны);
- полупроводниковая (большие и сверхбольшие интегральные схемы, чипы-имплантаты);
- оптоэлектронная (лазеры, электронные растровые микроскопы);
- магнитоэлектронная (магнитно-резонансная томография).

Развитие микроэлектроники, современных средств связи, непрерывное улучшение функциональности, уменьшение габаритов устройств, простота использования и их удешевление привели к появлению домашней медицинской электроники (home healthcare).

III. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Рассмотрим некоторые образцы медицинской электроники.

Электронный термометр. Температура тела человека – это один из главных показателей состояния его здоровья. Отклонение от нормы температуры человека напрямую связано с проблемами в его здоровье. В XX веке температуру измеряли с помощью ртутных термометров.

Электронный термометр измеряет температуру с помощью встроенных датчиков, контактирующих с телом человека, а результат выводится в цифрах на дисплей.

Принцип действия бесконтактного термометра основан на съеме инфракрасного излучения тела и преобразовании его в привычные для нас температурные показатели.

Электронный сфигмоманометр (тонометр). Согласно статистическим данным, сердечно-сосудистые заболевания, из-за которых страдают люди, занимают первое место в мире. Одной из причин такой статистики является также поздняя диагностика начала заболевания или же несвоевременное оказание медицинской помощи. Давление крови считается индикатором состояния сердечно-сосудистой системы и в то же время его достаточно просто измерить. Используется осциллометрический метод измерения, известный с 1876 года. В современном варианте – сфигмоманометрическая манжета со встроенным электронным датчиком, который оценивает колебания давления в манжете. Далее эти показания с помощью различных алгоритмов интерпретируются в цифровые значения.

На сегодняшний день широкое распространение получают электронные тонометры, оснащенные беспроводными передатчиками, которые позволяют переносить данные сразу на компьютер и вести учет за своим здоровьем.

Электронный стетоскоп. В отличие от обычных имеется возможность в режиме выслушивания тонов сердца параллельно вести запись электрокардиограммы (ЭКГ). ЭКГ является доступным информативным тестом, позволяющим получить визуальные данные о сердечной деятельности.

Подобный электронный стетоскоп очень удобен для целей обучения, телемедицины, диспансерного наблюдения, частной медицины [4].

Электрокардиостимулятор (pacemakers). Аритмии сердца (нарушения сердечного ритма) – группа патологических состояний, которые проявляются: изменением частоты ритма сердечных сокращений (тахикардия, брадикардия); появлением несинусового ритма или любого неправильного ритма; нарушениями проводимости импульса. Соответствующее лечение проводится путем коррекции этих состояний с помощью установки электрокардиостимуляторов (ЭКС) [5].

Первый имплантируемый под кожу ЭКС был создан в 1958 году (Siemens-Elerna).

ЭКС состоит из герметичного металлического корпуса, содержащего *li-ion* батарею, и микропроцессорного блока, который позволяет установить частоту сердечных сокращений, режим электрокардиостимуляции, мощность энергии и другие параметры.

В ЭКС нового поколения за счет вычислительной мощности микропроцессора специальные алгоритмы обработки отслеживают изменения внутригрудного сопротивления для раннего выявления застоя жидкости в груди еще до появления симптомов сердечной недостаточности. Данные этих измерений доступны посредством сети, что позволяет проверять состояние пациента вне зависимости от его местоположения.

Глюкометр. Современный глюкометр – это электронный прибор, предназначенный для измерения гликемии (уровня глюкозы в крови) в домашних и походных условиях. На основании полученных данных принимают меры для компенсации нарушений углеводного обмена. По принципу действия различают фотохимические, электромеханические, биосенсорные и спектрометрические глюкометры.

Магнитно-резонансная томография (МРТ). МРТ позволяет получить изображение человеческих органов и тканей с помощью электромагнитного поля и компьютерной обработки радиосигналов, излучаемых человеческим телом. Полученные данные позволяют судить о функционировании органов человека и обнаруживать их дисфункции на самых ранних стадиях заболевания.

Компьютерная томография (КТ). Основное отличие КТ и МРТ состоит в разных физических явлениях, которые используются в аппаратах. В случае КТ – это рентгеновское излучение, которое дает представление о физическом состоянии вещества, а при МРТ – постоянное и пульсирующее магнитные поля, а также радиочастотное излучение, дающее информацию о распределении протонов (атомов водорода), т.е. о химическом строении тканей.

Роботизированная хирургия. Преимущества роботизированной операции – это высокая точность и минимальное травматическое воздействие на пациента.

Самый известный медицинский робот "da Vinci" состоит из двух блоков, один из которых предназначен для врача-хирурга, а второй является манипулятором. Врач-хирург за специальным пультом имеет возможность видеть оперируемый участок в 3D изображении с многократным увеличением и использует специальные джойстики для управления инструментами. Имеется опыт успешно проведенной операции на расстоянии 7 000 км [6].

Биопротезирование. Развитие робототехники дало надежду людям с ограниченными возможностями при помощи протезирования конечностей с использованием электроники, в том числе при помощи электронных чипов, вживленных в мозг.

Протезирование может восстанавливать даже такую сложную функцию, как зрение. Это достигается применением искусственной сетчатки, работающей как видеокамера.

Звуковые сенсоры аналогично передают сигналы в мозг, восстанавливая слух.

Электронные устройства для управления процессами жизнедеятельности человека:

- аппараты для гемодиализа;
- аппараты искусственного дыхания;
- аппараты искусственного кровообращения;
- барокамеры для новорожденных;
- аппараты для наркоза.

Во всех этих устройствах используется широкая гамма электронной техники, а именно микропроцессорные контроллеры, сенсорные панели управления, цветные мониторы для отображения динамики проводимых медицинских процедур.

Физиотерапия. Большинство крупных молекул нашего организма полярны, поэтому в результате воздействия на них переменного магнитного поля активизируются обмен веществ, ферментные процессы, улучшается клеточный метаболизм. Это позволяет применять магнитотерапию при отеках, лечении суставов и для рассасывания кровоизлияний. Действие импульсов постоянного тока малой силы на структуры головного мозга способствует более глубокому и спокойному сну.

При острых воспалительных процессах применяют УВЧ-прибор, генерирующий электромагнитное поле ультравысокой частоты с короткой длиной волны. Ткани нашего организма поглощают эти волны и преобразуют их в тепловую энергию. В результате ускоряется движение крови и лимфы, ткани освобождаются от застоя жидкости, активизируются функции соединительной ткани.

Лазеры (оптические квантовые генераторы). Физическая основа работы лазера была предсказана А.Эйнштейном (A.Einstein) в 1916 году.

В медицине используются следующие физические свойства излучения лазеров: высокая когерентность, монохроматичность, малая расходимость, высокая спектральная плотность мощности, которые позволяют воздействовать на отдельные клетки, органы и организм в целом.

В хирургии лазер используется как бескровный скальпель. В офтальмологии лазеры используются при лечении глазных болезней (катаракта, отслоение сетчатки, коррекция зрения). Суть лазерной коррекции состоит в том, что луч лазера испаряет тончайший слой роговицы, тем самым изменяя ее кривизну, – в результате свет фокусируется прямо на сетчатку.

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Мобильное здравоохранение. По данным Международного союза электросвязи (ITU), в 2015 году в мире насчитывалось до 7 млрд. пользователей мобильных

телефонов [7]. Глобальный охват сотовой связью наряду с постоянно растущими техническими возможностями мобильных телефонов и проникновением Интернета способствует появлению такого нового направления в медицинской электронике, как мобильное здравоохранение (mHealth), связанного с использованием мобильных телефонов для формирования здорового образа жизни, профилактики и лечения заболеваний.

Смартфон становится персональным медицинским пультом управления, куда передаются данные от различных медицинских гаджетов, собственных датчиков и камеры. В смартфоне данные хранятся, анализируются и могут передаваться через Интернет врачу или в собственный онлайн аккаунт.

Совместное исследование, проведенное Economist Intelligence Unit и PWC, выявило основные преимущества mHealth:

- упрощение доступа к здравоохранению;
- сокращение затрат на здравоохранение;
- рост количества возможностей по контролю собственного здоровья;
- получение недоступной ранее медицинской информации;
- повышение качества здравоохранения.

Телемедицина. В США ежегодно проводится более 1,2 млрд. консультаций врачей, и большую их часть можно провести в режиме удаленной диагностики [8].

Для пациента телемедицина создает удобства, когда диагностика проводится в привычной домашней обстановке, а сам пациент не подвергается дополнительной психологической нагрузке, экономятся его время и личные финансы.

Врачи же повышают свою производительность и эффективность, уделяя больше внимания пациентам с более сложными случаями.

Телемедицина позволяет решать проблемы экстренной медицины и доступности услуг в отдаленных областях.

Дроны (беспилотные летательные аппараты). По данным организации Definetz, только в Германии от внезапной остановки сердца ежегодно умирают 100 000 человек.

Definetz предложила использовать дроны для экстренной доставки дефибрилляторов и других средств в тех случаях, когда прибытия бригады медицинской помощи дожидаться невозможно. Так, например, в случае приступа инфаркта миокарда или остановки сердца счет идет на минуты и вовремя оказанная доврачебная помощь сохранит жизнь больному

Дрон снабжен веб-камерой, микрофоном и динамиками, что позволяет управляющему дроном врачу давать точные инструкции прохожим по оказанию реанимационных мероприятий человеку, у которого могла произойти внезапная остановка сердца прямо на улице.

Нанотехнологии. Нанороботы имеют большие потенциальные возможности в области медицины. Это связано с возможностью адресной доставки лекарственных препаратов, что в результате позволит уменьшить побочные эффекты и отказаться от инвазивных процедур.

Развитие нанoeлектроники стимулирует применение имплантирования электронных устройств непосредственно

в тело человека для контроля его физиологических параметров и исправления дефектов в организме на молекулярном уровне.

Компьютерное диагностирование и искусственный интеллект. В настоящее время широкое распространение среди диагностических методов получили компьютерные методы, которые подразумевают получение диагностической информации по результатам измерения различных характеристик какой-либо части организма. Такая информация отражает состояние различных функциональных систем организма и носит опережающий характер, т.е. позволяет производить оперативный прогноз функционального состояния какой-либо части организма.

С 2013 года суперкомпьютер IBM Watson используется в клиниках США в качестве онколога-диагноста. Однако он полностью не заменяет квалифицированного специалиста, но дополнительные медицинские доказательства на основе компьютерных алгоритмов диагностики позволяют своевременно обнаружить зарождающиеся симптомы и начать упреждающее лечение пациента. Также с помощью суперкомпьютера на основе данных от КТ и МРТ была создана трехмерная модель сердечно-сосудистой системы человека, на которой будут апробировать новые технологии хирургических операций на сердце и изучать их влияние на организм в целом [9].

3D прототипирование, или 3D печать. Технологии 3D печати – новое направление медицинской электроники – находятся на этапе становления. Пионером в этой области является стоматология, где объемная печать используется с 1999 года. Перспективным направлением является объемная печать костных фрагментов, биологических тканей и внутренних органов человека.

V. НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ МЕДИЦИНСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Медицинская электроника должна соответствовать стандартам надежности и удовлетворять требованиям безопасности, потому что от нее зависят здоровье и жизнь людей.

В данном контексте существуют риски того, что отказы, неисправности и сбои в работе электроники могут привести не столько к экономическим или информационным потерям, а к ошибочным выводам и действиям медицинского персонала и, как следствие, к гибели пациентов.

Способность аппаратуры к безотказной работе зависит от многих причин, учесть которые практически невозможно, поэтому количественная характеристика надежности имеет вероятностный характер. В зависимости от возможных последствий отказа в процессе эксплуатации медицинскую электронику можно условно разделить на три класса надежности [10]:

– А – отказы представляют непосредственную опасность для жизни пациента или персонала. Вероятность безотказной работы при этом должна быть не менее 0,99.

– В – отказы вызывают искажение информации о состоянии организма. Вероятность безотказной работы должна быть не менее 0,8.

– С – отказы снижают эффективность лечебно-диагностического процесса.

Безопасность медицинской электроники необходимо рассматривать в аспекте электромагнитной совместимости, когда из-за наличия помех могут быть получены некорректные данные, что может стать причиной ошибочного диагноза.

Существуют также риски неконтролируемых или несанкционированных подключений посредством USB портов и Wi-Fi адаптеров, что ставит под угрозу как здоровье пациента, так и информационную безопасность. Так, в одном из медицинских центров злоумышленники посредством вредоносного программного обеспечения вывели из строя больничную компьютерную сеть, томографы и другое диагностическое оборудование [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Медицинская электроника имеет большой потенциал для решения проблем здравоохранения, таких, как растущие издержки, доступность и качество медицинской помощи. Современные цифровые технологии позволяют отойти от традиционной модели медицинской практики, когда болезнь переходила в острую форму и требовала немедленного вмешательства и дорогостоящего лечения в стационаре. Тенденции увеличения вычислительной мощности и уменьшения размеров электронных компонентов сделали возможными разработку устройств домашнего здравоохранения. Используя Интернет вещей, облачные вычисления, телемедицину, можно осуществлять удаленный мониторинг заболеваний. Стремительно развивается mHealth как стратегия профилактического здравоохранения, при которой персональные данные о состоянии здоровья с помощью, например, смарт-часов, фитнес-трекеров, шагомеров, "умной" одежды отправляются врачу и используются для контроля физической активности и предупреждения начала развития болезни.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю. Т. Шарабчиев, Т.В. Дудин, «Доступность и качество медицинской помощи: слагаемые успеха», Медицинские новости. №12, стр.6–12, 2009.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Willem_Einthonen_
- [3] www.medgadget.com/
- [4] www.edgefx.in/working-principle-electronic-stethoscope-circuit-diagram/
- [5] Introduction to medical electronics applications. / D.Jennings, A.Flint 1995, 222 p.
- [6] www.medcoordinator.ru/urology/robotic-surgery
- [7] B. Sanou. ICT facts and figures. www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2015
- [8] https://medaboutme.ru/zdorove/publikacii/stati/sovety_vracha/telemeditsina_v_rossii_i_za_rubezhom_kratkiy_analiz/
- [9] <http://hi-news.ru/technology/superkompyuter-sozdal-trexmernuyu-model-serdechno-sosudistoj-sistemy-cheloveka.html>
- [10] В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов, Медицинская и биологическая физика, 2008, 592 с.
- [11] <http://evercare.ru/hackers-attack>