

Разработка системы ведения пациентов с желудочковыми аритмиями

Д. Н. Клыпин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
dnklypin@stud.etu.ru

Аннотация. Пациентам, имеющим наследственные или приобретенные патологии проводимости желудочков сердца, в силу чрезвычайной опасности подобных патологий, необходим постоянный кардиомониторинг в условиях повседневной жизнедеятельности и различных физических нагрузок, а также своевременное проведение реанимационных мероприятий при резком ухудшении самочувствия. Таким пациентам часто показана имплантация кардиовертера-дефибриллятора для предотвращения внезапной сердечной смерти и развития других фатальных состояний сердца, однако имплантируемые устройства заметно снижают качество жизни по разным причинам.

Предлагается телеметрическая система ведения пациентов с желудочковыми аритмиями, включающая подсистему кардиомониторинга, подсистему дефибрилляции и подсистему принятия решений на базе распределенной нейросети.

Ключевые слова: кардиомонитор; дефибриллятор; телеметрия; желудочковые аритмии; распределенная нейросеть

I. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в РФ является одной из наиболее высоких в мире и составляет около 1500 на 100 000 жителей в год, а по причине внезапной сердечной смерти (ВСС) – от 200 до 250 тысяч жителей/год (данные 2018 года).

Для достоверного диагностирования сердечных патологий врачам требуется все более продолжительное время мониторинга сердечной активности пациента, причем в условиях повседневной жизнедеятельности, поэтому в настоящее время бурно развивается разработка как неинвазивных малогабаритных клеящихся «патчей» – кардиомониторов одного ЭКГ отведения (рис. 1), так и имплантируемых мониторов ритма (рис.2), с временем мониторинга ритма сердца несколько дней у «патчей» [1] и несколько лет у имплантатов [2].



Рис. 1. Датчик ЭКГ ZIO patch и его размещение на теле пациента



Рис. 2. Имплантируемый регистратор ритма Reveal LINQ™

В то же время, после подтверждения пациенту диагноза фатальных ЖА, необходимо обеспечить безопасность его жизни, путем своевременной подачи электрической стимуляции сердечной мышцы немедленно после возникновения опасного состояния. Такую стимуляцию могут оказывать как имплантируемые или подкожные кардиовертеры-дефибрилляторы (ИКД) (рис. 3), работающие в автоматическом режиме [3], так и носимые дефибрилляторы (рис. 4), работающие в автоматическом режиме или с подтверждением подачи воздействия как самим пациентом, так и ведущим пациента врачом-клиницистом [4].

Однако, как показала практика применения ИКД, при их использовании может значительно уменьшаться продолжительность жизни пациента, поскольку часты необоснованные и ложные шоковые воздействия.



Рис. 3. Имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор фирмы Abbott



Рис. 4. Носимый кардиовертер-дефибриллятор фирмы Zoll

В то же время для носимых дефибрилляторов в силу их конструкции (отличия от стандартных кардиомониторов по размещению и количеству ЭКГ электродов) остается актуальной проблема точной диагностики фатальных патологий, и, как следствие, также появление необоснованных эпизодов стимуляции, приводящих, как минимум, к ухудшению качества жизни пациента.

II. ТЕХНОЛОГИИ

Разрабатываемая телеметрическая система построена по принципу многоуровневых интеллектуальных систем удаленного мониторинга и обработки биомедицинских данных [5, 6] и предназначена для дистанционного ведения пациентов с подтвержденным диагнозом развития фатальных ЖА.

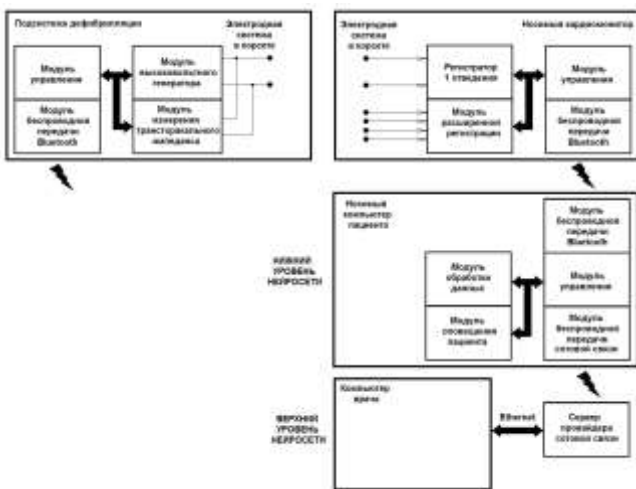


Рис. 5. Функциональная схема системы

Система (рис. 5) содержит основной аппаратно-программный модуль и ряд дополнительных аппаратно-программных модулей (подсистем), которые могут динамически подключаться к основному модулю по мере усложнения диагностических процедур и принятия решений по терапии патологии.

Основным модулем системы является монитор ритма – регистратор одного ЭКГ отведения. В исходном состоянии работает только этот модуль, для уменьшения энергопотребления всей системой и увеличения времени кардиомониторинга.

При выявлении патологий в виде увеличения частоты сердечных сокращений (ЧСС) за заранее заданные пределы (типовое значение для определения тахикардии – 90...100 ударов в минуту, для пациентов с увеличенным «рабочим» ЧСС задается отдельно) ставится предупреждение «Тахикардия» и к основному модулю подключается модуль расширенной регистрации тех ЭКГ отведений, где лучше всего выявляются волны фибрилляций – отведений II, III, aVF, V₁, V₂.

Все указанные действия производятся на носимом кардиомониторе пациента [7], показанном на рис. 6. Электроды для регистрации ЭКГ интегрированы с разъемным корсетом, положение электродов для электростимуляции – на спине (рис.4). Все электроды многоразовые и осуществляют контакт с телом через твердый электропроводящий гель.



Рис. 6. Носимый кардиомонитор (патент автора)

Расположение ЭКГ электродов в корсете производится по модифицированной системе отведений EASI [7, 8], в которой число электродов увеличено до 6 для улучшения анатомической привязки к телу пациента (рис. 7). Динамическое переключение выбранных для регистрации отведений ЭКГ осуществляется математически, путем выбора из стандартных 12 отведений, восстановленных из сокращенного набора отведений перемножением на матрицу коэффициентов.

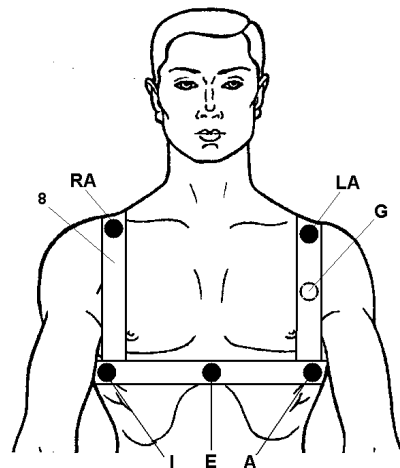


Рис. 7. Расположение электродов в модифицированной системе отведений EASI

Если при дальнейшей регистрации ЧСС достигает опасных значений – более 250 для трепетаний желудочков и более 300 для фибрилляций желудочков (ФЖ) [9, стр. 8], то подключается модуль обработки данных – нижний уровень нейросети, реализованный на мобильном компьютере пациента (смартфон или планшет). Данные на мобильный компьютер передаются с кардиомонитора пациента по беспроводному каналу связи (Bluetooth, LoRa и т. п.).

Нижний уровень нейросети производит цифровую обработку и анализ данных для дифференцирования между асистолиями и аритмиями предсердий и желудочков, а при определении ЖА – между трепетаниями желудочков (ТЖ) и ФЖ. Для обработки данных по выявлению ЖА создаются алгоритмы быстрого определения типа патологии (короткий или удлиненный QT-интервал, синдромы Бругада или ранней реполяризации желудочков).

После выявления и классификации ЖА, в зависимости от степени опасности выявленной патологии, подключается модуль оповещения пациента о тревожном событии, а также модуль передачи данных ведущему врачу-клиницисту по каналам сотовой связи или Wi-Fi. Для постановки уточненного диагноза осуществляется передача данных регистрации всех ЭКГ отведений заданной длительности до наступления тревожного события, а также предварительный диагноз с дополнительными данными о состоянии пациента – местонахождение, положение (важно при падении), уровень двигательной активности и температура тела.

Данные регистрации, принятые центром телемониторинга, анализируются верхним уровнем нейросети на компьютере врача с учетом анамнеза, всех известных параметров пациента (тип ЖА, подтвержденный диагноз, проводимая лекарственная терапия, возраст, пол, масса тела) и принятых дополнительных данных для получения заключения о необходимости и типе электрической стимуляции. Окончательное решение и диагноз выносит ведущий пациента врач-клиницист.

При подтверждении врачом необходимости шоковой терапии команда на проведение определенного типа стимуляции передается на мобильный компьютер пациента. Мобильный компьютер запускает подсистему дефибрилляции, которая предварительно определяет состояние пациента путём измерения текущего импеданса грудной клетки и качества наложения стимулирующих электродов.

На основе проведенных вычислений формируется электрическое воздействие определенной мощности (от 25 до 360 Дж) и вида – одиночный разряд или группа разрядов при кардиоверсии.

После проведения стимуляции производится оценка эффективности воздействия по анализу ЭКГ во всех отведениях и передается отчет на телемедицинский сервер. При успешном проведении дефибрилляции и восстановлении нормального синусного ритма система возвращается в исходное состояние, отключая все дополнительные модули. Если после стимуляции ритм сердца не восстановился, включается режим непрерывной передачи данных регистрации на телемедицинский сервер для принятия решений врачом о

дальнейшей стимуляции или вызове экстренных служб спасения по месту геолокации пациента.

Возможна ситуация, когда отсутствует устойчивая связь системы с телемедицинским сервером из-за удаленности пациента от вышек сотовой связи или затеняющего распространение радиоволн рельефа местности. В этом случае, после принятого оповещения о тревожном событии, пациент может самостоятельно принять решение о выполнении стимуляции нажатием специальной кнопки. Система, как было рассмотрено ранее, оценит состояние электродов на теле человека и выдаст определенное воздействие на основании ранее заданных установок лечащим врачом. Без предварительного анализа и подтверждения системой возникновения фатальных ЖА пациент не может провести себе шоковое воздействие (это принцип действия всех автоматических дефибрилляторов).

При возникновении фатального состояния сердца, отсутствии связи и отсутствии реакции человека (потеря сознания, обморочное состояние), система может принять решение о проведении автоматического шокового воздействия, если это разрешено в её настройках.

Кардиомонитор пациента снабжен аккумулятором и модулем беспроводной зарядки, что позволяет носить кардиомонитор неограниченное время, раз в несколько дней подзаряжая его, например, от носимого источника энергии (power bank).

Исполнение кардиомонитора пациента в виде разъемного корсета с интегрированными электродами позволяет снимать и надевать его в любое время, что значительно улучшает качество жизни пациента. Система автоматически отслеживает снятие корсета, записывая это событие в память и переводя основной модуль в спящий режим до надевания корсета и прикосновения электродов к телу пациента.

Модуль дефибриллятора может иметь собственную батарею питания или быть подключенным к аккумулятору мобильного компьютера пациента через OTG-кабель, что позволяет минимизировать вес системы в целом. При этом обеспечивается гарантированное проведение разовой процедуры дефибрилляции или кардиоверсии. В этом варианте электропитания система отслеживает уровень заряда мобильного компьютера пациента с учетом запаса на разряд не менее 360 Дж, индицируя необходимость своевременной подзарядки.

Разрабатываемая телеметрическая система ведения пациентов с желудочковыми аритмиями также может использоваться:

- при расширенном скрининге населения, входящего в группу риска по ЖА – режим продолжительного холтер-мониторинга с беспроводной передачей данных (web-holter) для выявления редких случаев аритмий (синкопов);
- для контроля динамики состояния пациента при медикаментозной терапии, провокационных и нагрузочных исследованиях, в том числе для своевременного оказания реанимационной помощи при таких исследованиях;
- в автономном режиме (без модуля телеметрии), с проведенными заранее врачом-клиницистом

установками системы конкретному пациенту с подтвержденным диагнозом ЖА – полуавтоматический режим кардиовертера-дефибриллятора;

- в автоматическом или полуавтоматическом режиме службами экстренной помощи для оказания помощи человеку вне лечебно-профилактических учреждений;
- применение дефибриллятора носимой системы длительной регистрации сердечного ритма (носимого дефибриллятора) рекомендовано для поддержки в период выздоровления или до установки ИКД пациентам с воспалительными заболеваниями сердца и остаточной тяжелой дисфункцией левого желудочка и/или электрической нестабильностью желудочка [9, стр.70].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка системы ведения пациентов с желудочковыми аритмиями является актуальной задачей в связи с постоянно растущим количеством жителей в группе риска ВСС, недостаточной обеспеченностью лечебных учреждений ИКД и неоднозначностью применения ИКД в силу потенциальных осложнений и ухудшения качества жизни пациента.

В то же время нет серийно выпускаемых медицинских приборов и систем, содержащих кардиомонитор и носимый дефибриллятор с достоверным диагностированием фатальных патологий в режиме реального времени и выработкой персонализированных воздействий. Это направление в настоящее время активно разрабатывается во всем мире [10].

Разработка системы ведется на кафедре биотехнических систем СПбГЭУ «ЛЭТИ». Текущее состояние разработки – проведен тематический поиск, подготовлена заявка на патент, разрабатываются структурная схема системы, алгоритмы выявления сердечных патологий и алгоритмы формирования импульсов дефибрилляции в зависимости от возраста, конституции и заболеваний пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Barrett P. et al. Comparison of 24-hour Holter monitoring vs. 14-day novel adhesive patch electrocardiographic monitoring. *American Heart Journal of Medicine*, 2014.
- [2] Santomauro M, Giordano R, Comentele G, Riganti C, et al. (2018). Comparison of the Implantable Cardiac Monitor Reveal LINQ Versus Reveal XT in Young Patients. *M J Cardiol*. 3(1): 016/
- [3] Kusumoto Fred & Ray Jordan & Goodall Harrison & Pascual Thomas. (2015). Implantable cardioverter defibrillators: state of the art. *Research Reports in Clinical Cardiology*. 2015. 10.2147/RRCC.S48339.
- [4] Waßnig N.K., Gunther M., Quick S. et al., “Experience with the wearable cardioverter-defibrillator in patients at high risk for sudden cardiac death,” *Circulation*, vol. 134, no. 9, pp. 635–643, 2016.
- [5] Юлдашев З.М., Пустозеров Е.А., Анисимов А.А. Многоуровневая интеллектуальная система удаленного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями. // *Биотехносфера*, № 5(47)/2016. С. 2-8.
- [6] Klypin Dmitry & Potapov Ilya & Titov Dmitry & Garaeva Antonina. (2016). The base tasks in development of Biomedical Data Information System. 1-4. 10.1109/Dynamics.2016.7819027.
- [7] Патент РФ RU 168748 U1 / Д.Н. Клыпин Прибор для кардиомониторинга., МПК А61В 5/0432, опубл. 17.02.2017.
- [8] Drew BJ et al. Comparison of a new reduced lead set ECG with the standard ECG for diagnosing cardiac arrhythmias and myocardial ischemia. *J Electrocardiol*. 2002;35 Suppl:13-21. doi: 10.1054/jelc.2002.37150. PMID: 12539095.
- [9] Клинические рекомендации. Желудочковые нарушения ритма. Желудочковые тахикардии и внезапная сердечная смерть. Минздрав РФ. 2020 г.
- [10] Alsamman Mrhaf et al. (2022). Update on Wearable Cardioverter Defibrillator: A Comprehensive Review of Literature. *Cardiology research*. 13. 185-189. 10.14740/cr1387.