

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ СОВРЕМЕННЫХ КАРДИОГРАФОВ

Симакова А.В., бакалавр, **Сулимов М.О.**, бакалавр, **Кодзасова Т.Л.**, к.т.н., доц., **Дзестелова А.А.**, асп., **Абдикаримова А.М.**, бакалавр

ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)". Россия, 362021, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Аннотация: В данной работе проводится комплексный анализ актуальных проблем, присущих современным электрокардиографам (ЭКГ), несмотря на их широкое распространение и технологическое развитие. Выделяют и систематизируют ключевые вызовы, включая ограничения, связанные с точностью измерений в условиях артефактов (дыхание, тремор, электрические наводки), низкую диагностическую эффективность при кратковременных пароксизмальных аритмиях, а также проблему интеграции данных в единые информационные системы здравоохранения. Особое внимание уделяется вопросам удобства использования как для медицинского персонала, так и для пациентов при самостоятельном применении портативных устройств. В работе также рассматриваются перспективные направления для решения указанных проблем: внедрение алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения для автоматизации и повышения точности анализа, развитие технологий носимых мониторов с длительной записью ЭКГ, создание более совершенных систем фильтрации сигнала. Делается вывод о необходимости перехода от традиционных кардиографов к интеллектуальным диагностическим экосистемам.

Ключевые слова: электрокардиография, ЭКГ, проблемы кардиографов, артефакты, диагностика аритмий, носимые медицинские устройства, искусственный интеллект, телемедицина.

Research into the problems of modern cardiographs

Simakova A.V., bachelor's degree, **Sulimov M.O.**, bachelor's degree, **Kodzasova T.L.**, Doctor of Medicine, assoc., **Dzestolova A.A.**, Graduate Student, **Abdicarimova A.M.**, bachelor's degree

North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University). 44 Nikolaeva St., Vladikavkaz, Russia, 362021, Republic of North Ossetia-Alania

Abstract: This article provides a comprehensive analysis of the current challenges

inherent in modern electrocardiographs (ECG), despite their widespread use and technological advances. Key challenges are identified and systematized, including limitations related to measurement accuracy in the presence of artifacts (respiration, tremor, electrical interference), low diagnostic efficiency for short-term paroxysmal arrhythmias, and the problem of data integration into unified healthcare information systems. Particular attention is paid to usability issues for both medical personnel and patients during independent use of portable devices. The paper also examines promising areas for addressing these issues: the implementation of artificial intelligence and machine learning algorithms to automate and improve analysis accuracy, the development of wearable monitors with long-term ECG recording, and the creation of more advanced signal filtering systems. A conclusion is drawn regarding the need to transition from traditional ECG devices to intelligent diagnostic ecosystems.

Keywords: Electrocardiography, ECG, cardiograph problems, artifacts, arrhythmia diagnostics, wearable medical devices, artificial intelligence, telemedicine.

Первый человеческий электрокардиограф был создан британским физиологом Августом Уоллером в 1887 году. Он использовал капиллярный электрометр и электроды, размещенные на груди и спине человека, тем самым зарегистрировав электрическую активность перед каждым сердечным сокращением. Однако, настоящую революцию в области электрокардиографии произвел голландский ученый Виллем Эйнтховен, который усовершенствовал капиллярный электрометр и разработал струнный гальванометр высокой чувствительности в 1901 году[6]. Этот прибор заново открыл возможности для клинического использования и положил основу для создания современного ЭКГ-аппарата.

Эйнтховен также ввел термин "электрокардиограмма" на медицинской конференции в 1893 году и предложил систему обозначения зубцов (PQRST), которую мы используем до сих пор. В 1924 году Эйнтховен был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за свое изобретение[2].

Принцип работы электрокардиографа основан на регистрации электрической активности сердца. Колебания разности потенциалов, которые возникают при возбуждении сердечной мышцы фиксируются наложенными на тело пациента электродами и передаются на вход прибора. Поскольку величина фиксируемого напряжения крайне мала сигнал проходит через усилители, которые пропорционально увеличивают его до 700 раз. Постоянно меняющиеся величины и направления получаемого сигнала отображаются на бумаге или экране электрокардиографа в виде кривой линии — графической электрокардиограмме. С помощью регистрации этих биопотенциалов прибор визуализирует работу главного органа человека — сердца.

Движение ленты электрокардиографа, на которой производится запись может производиться с разной скоростью (от 25 мм/с до 100 мм/с).

Современные электрокардиографы оснащены памятью определенного объема для сохранения данных кардиограмм.

Также большое распространение в клинической практике имеют холтеровские системы — системы суточного мониторинга в постоянном режиме. Данная система используется для получения более подробных данных об изменениях в работе сердечно-сосудистой системы. Холтер постоянно регистрирует сигнал на протяжении необходимого количества времени в процессе обычной жизнедеятельности пациента и отправляет полученные данные на компьютерную обработку, исходя из которой врач-кардиолог может диагностировать картину болезни[3].

Современный электрокардиограф состоит из входного устройства, усилителя биопотенциалов и регистрирующего устройства (рисунок 1). Разность потенциалов, возникающая на поверхности тела при возбуждении сердца, регистрируется с помощью системы металлических электродов, укрепленных на различных участках тела резиновыми ремнями или грушами. Через входные провода, маркированные различным цветом, электрический сигнал подается на коммутатор, а затем на вход усилителя, состоящего из катодных ламп, триодов или интегральных схем[4].

В основном корпусе прибора установлены фильтры сигнала, позволяющие отсеять ненужную часть сигнала, усилители, гальванометр, блок питания и фиксатор с лентопротяжным механизмом[4].

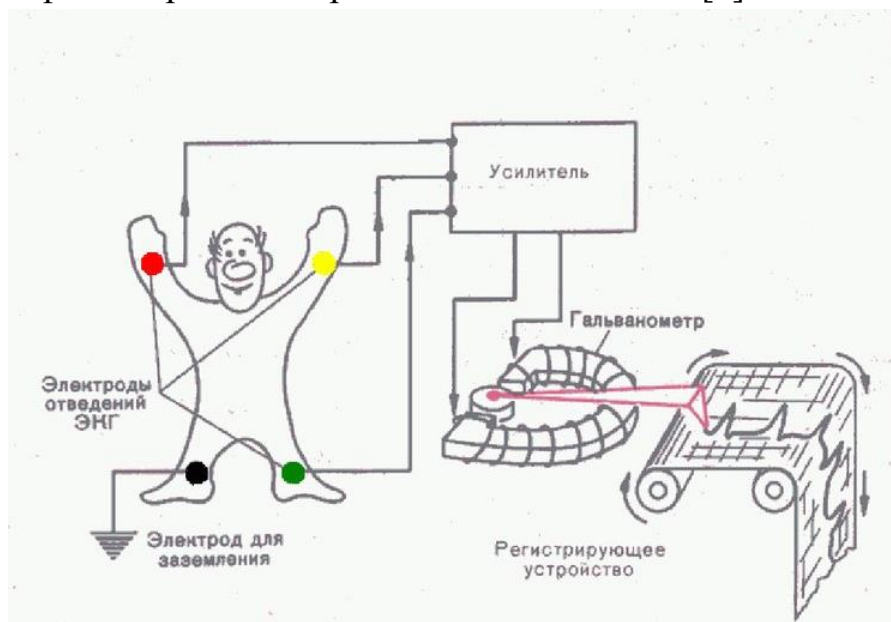


Рисунок 1 - Устройство электрокардиографа

Портативная версия электрокардиографа также оснащается встроенным аккумулятором и термопринтером, позволяющими производить запись электрокардиограмм в любом необходимом месте, что особенно

важно для деятельности экстренных служб и передвижных диагностических кабинетов.

Электрокардиографы должны устанавливаться в сухом помещении при температуре не ниже 10°C и не выше 30°C. Во время работы электрокардиограф, а также металлическая кровать, на которой лежит пациент, должны быть заземлены.

В современном мире болезни сердечно-сосудистой системы (ССС) занимают первое место среди количества летальных исходов во всем мире. Среди всех причин смертей на их долю приходится 57 %. Диаграмма основных причин смертей представлена на рисунке 2. Каждый год на 100 тысяч граждан России умирают от инфаркта миокарда 154 женщины и вдвое больше мужчин [1].

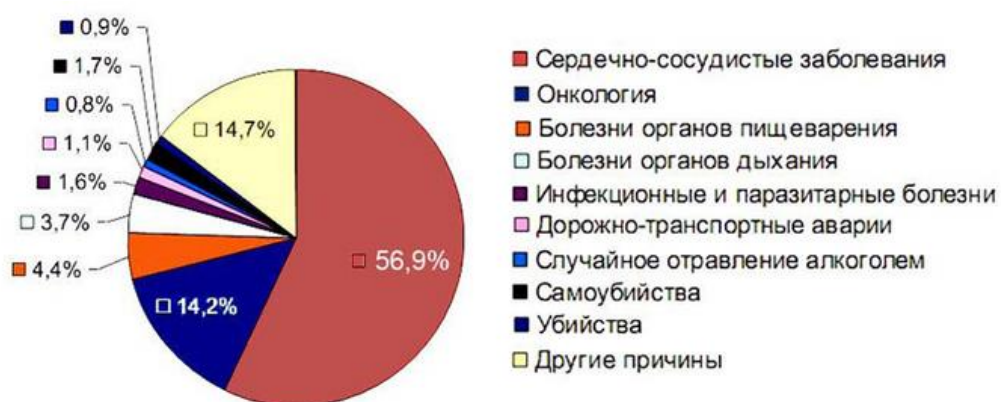


Рисунок 2 – Диаграмма причин смертей

Рассматривая проблему распространенности ССЗ в мире, можно отметить, что наблюдается ежегодный рост числа заболеваний, кроме того, возраст пациентов становится меньше. От сердечно-сосудистых заболеваний высокая доля летального исхода или инвалидности [1].

В связи с этим своевременное обнаружение и диагностика ССЗ с помощью электрокардиографов является необходимой и важной задачей, а улучшение работы современных электрокардиографов и других устройств диагностики сделают эту задачу намного легче.

Электрокардиограф (ЭКГ) уже более века остается основным и незаменимым инструментом в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы. Он прошел эволюцию от громоздких аналоговых аппаратов до компактных цифровых систем, интегрированных с компьютерными сетями. Современные кардиографы обладают высокой точностью, портативностью и оснащены алгоритмами автоматического анализа. Однако, как и любая развивающаяся технология, они сталкиваются с рядом системных проблем, которые ограничивают их диагностическую эффективность.

В процессе исследования современных электрокардиографов выявлены некоторые функциональные недостатки и неудобства использования, как для врачей, так и для пациентов.

Проблемы с контактом электродов, которые при плохом контакте создают помехи, которые могут маскировать настоящую патологию или имитировать ее, а также вызывает "плавающую" изолинию, затрудняющую анализ. Напряжение мышц груди или конечностей также искажает запись. Современные фильтры справляются с частью помех, но зачастую "вырезают" и полезные компоненты сигнала, что может привести к потере диагностически важной информации.

Хотя современные кардиографы имеют встроенные программы автоматического анализа, их заключениям нельзя доверять на 100%. Окончательный диагноз ставит врач-кардиолог или функциональный диагност. Человеческий фактор и опыт врача играют ключевую роль, а значит, возможны ошибки в трактовке.

Неудобства для пациентов: для стандартных ЭКГ нужно раздеться до пояса, оголить лодыжки, лечь на кушетку. Для пожилых, тяжелобольных и пациентов с ограниченными возможностями это может быть проблематично. А гель для электродов может быть холодным и неприятным.

Традиционные одноразовые серебряно-хлоридные (Ag/AgCl) электроды доминируют в клиниках, но они имеют недостатки: риск раздражения кожи, необходимость частой замены и образование отходов[5].

Проанализировав данные недостатки, мы предлагаем следующие варианты решения:

Для решения проблемы с контактом электродов мы предлагаем использовать электроды из токопроводящего силикона, резины или тканей, который меньше зависят от качества контакта и не требует геля. Их использованием поможет многим пожилым людям и людям с ограниченными возможностями. Изготовление и популяризация использования моделей электродов из новых материалов существенно облегчит жизнь многих людей.

Российский рынок медицинских изделий, особенно расходных материалов таких как электроды ЭКГ, исторически зависел от международных производителей (3M, Ambu, GE Healthcare, Cardinal Health и др.). Основная проблема — отсутствие собственного производства ключевых компонентов. Разработка, проектирование и в дальнейшем налаживание собственного производства является одной из ключевых задач.

Неудобства для пациентов: для решения этой проблемы необходимо популяризировать кардио-пластыри и в дальнейшем наладить их

производство в РФ. Одноразовые и водонепроницаемые, они незаметны под одеждой.

Общая конструкция кардиопластыря, представляет собой многослойную структуру («сэндвич»), которая формируется двумя гибкими обкладками, образующими лицевую и тыльную стороны устройства. Между этими обкладками размещены основные электронные компоненты.

Ключевые компоненты, из которых состоит типичный кардиопластырь:

1. Гибкая основа (обкладки): Обеспечивает комфортное ношение на коже и защищает электронику. Материал обладает водонепроницаемостью.

2. Электроды: С тыльной стороны устройства, которая контактирует с кожей, расположены как минимум два электрода для снятия одноканальной электрокардиограммы (ЭКГ). В усовершенствованных моделях может присутствовать третий, дополнительный электрод, который, например, может быть оснащен термодатчиком для измерения температуры тела.

3. Электронная плата: Является «мозгом» устройства. На ней размещены:

- Микропроцессор для управления работой.
- Усилитель биоэлектрических сигналов.
- Аналого-цифровой преобразователь.
- Память для временного хранения данных.
- Радиомодуль Bluetooth для беспроводной передачи данных на смартфон или другое устройство.

- Аккумулятор: Обеспечивает автономную работу устройства в течение до 14 дней без подзарядки от сети. На лицевой стороне пластыря может быть размещен разъем для его зарядки.

- Дополнительные датчики: Для расширенной диагностики устройство может включать акселерометр. Этот датчик отслеживает уровень физической активности, изменения положения тела в пространстве и даже падения.

Электронная плата непрерывно записывает ЭКГ-сигнал и данные с акселерометра. Эти данные могут обрабатываться непосредственно на устройстве с помощью встроенных алгоритмов искусственного интеллекта, способных, например, распознавать фибрилляцию предсердий. Информация передается по Bluetooth на мобильное приложение, которое синхронизируется с облачным сервером для дальнейшего анализа врачом.

Также нам необходимо популяризировать ношение смарт-часов и фитнес-браслетов среди пожилых людей. С их помощью можно снять ЭКГ одним касанием в любой момент. Эти устройства идеально подходят для скрининга и раннего обнаружения проблем.

Симакова Алена Викторовна, бакалавр,
ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)". Россия, 362021,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,

Сулимов Максим Олегович, бакалавр,
ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)". Россия, 362021,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,

Кодзасова Татьяна Львовна, к.т.н., доцент кафедры ЭП,
ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)". Россия, 362021,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,

Дзестелова Анастасия Алексеевна, аспирант,
ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)". Россия, 362021,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,

Абдикаримова Арзайым Мухаммедкаримовна, бакалавр,
ФГБОУ ВО "Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)". Россия, 362021,
Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,

Список используемых источников

1. Якшина Алиса Дмитриевна. Сердечно-сосудистые заболевания в России: обзор статистики // Наука через призму времени.-2024.-№1 (82).
2. Кульбикова, Д. А. Электрокардиография / Д. А. Кульбикова // Мавлютовские чтения : Материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции. В 6-ти томах, Уфа, 25–27 октября 2022 года. Том 3. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2022. – С. 148-151.
3. Стецко, Н. С. Электрокардиограф. Электрофизиологическая инструментальная диагностика / Н. С. Стецко, И. И. Черкасов // Студенческий форум. – 2023. – № 22-1(245). – С. 26-29.
4. Лисаневич, М. С. Назначение и устройство электрокардиографа / М. С. Лисаневич, Э. Р. Рахматуллина, Р. Р. Арсланов // Аллея науки. – 2021. – Т. 1, № 1(52). – С. 315-318.
5. Меликьян, С. В. Совершенствование системы электродов электрокардиографов / С. В. Меликьян // Актуальные вопросы инноваций и современные научные открытия : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции, Уфа, 31 мая 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. – С. 111-115.
6. Астафьев, А. Н. Электрокардиография. Изучение работы электрокардиографа : Методические указания к лабораторной работе №1 / А. Н. Астафьев, А. А. Демидова, В. А. Назарова. – Липецк : Липецкий государственный

технический университет, 2017. – 13 с.

7. Тукаев, И. И. Кардиограф / И. И. Тукаев // Актуальные вопросы техники и технологии : Сборник материалов IV Международной заочной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Стерлитамак, 28 марта 2018 года / Ответственный редактор - С.Ю. Широкова. – Стерлитамак: Башкирский государственный университет, 2018. – С. 496-499.