

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR CARDIOPULMONARY RESUSCITATION PROCEDURE CONTROL

*M. Kutsov
Ya. Kostelevi*

Summary. The article is devoted to the problem of automated control over the efficiency of cardiopulmonary resuscitation. The main principles of work of the device for cardiopulmonary resuscitation control are formulated and described.

Keywords: cardiopulmonary resuscitation, resuscitation procedures control, emergency medical care.

Куцов Михаил Сергеевич

Аспирант, ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский Томский государственный
университет»
mihail-kucov@mail.ru

Костелей Яна Валерьевна

Техник, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»
yaninabaler@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема автоматизированного контроля эффективности проведения сердечно-легочной реанимации. Были сформулированы и описаны основные принципы работы устройства для контроля проведения сердечно-легочной реанимации человека.

Ключевые слова: сердечно-легочная реанимация, контроль реанимационных мероприятий, неотложная помощь.

Одной из основных стратегических задач системы здравоохранения Российской Федерации является снижение смертности населения, в том числе в ходе проведения реанимационных мероприятий. При этом процент граждан, обладающих навыками оказания квалифицированной доврачебной (первой) помощи, в том числе реанимационных мероприятий, ничтожно мал. Повысить качество проведения сердечно-легочной реанимации (далее — СЛР) людьми, не обладающими достаточными навыками проведения реанимационных мероприятий, можно за счет создания технических средств, которые позволят проводить оценку качества проведения непрямого массажа сердца (далее — НМС) и искусственной вентиляции легких, а так же координировать действия реаниматора.

На сегодняшний день существует несколько моделей устройств иностранного и отечественного производства, которые оценивают правильность проводимых реанимационных мероприятий лишь по косвенным признакам — по степени компрессии грудной клетки или по силе нажатия на нее, что не является достоверными данными о качестве проведения НМС. Также известными устройствами не проводится оценка состояния пациента во время проведения СЛР и не контролируется возникновение собственного сердцебиения. Это является важным аспектом, так как продолжение НМС после появления самостоятельной сердечной деятельности может привести к возникновению травм сердца и развитию функциональных нарушений сердечной деятельности.

Достоверно оценить качество проведения НМС можно путем определения наличия динамики кровотока в сонных артериях пациента, поскольку ее наличие говорит о том, что выполнение непрямого массажа обеспечивает достаточную компрессию камер сердца для выброса из них крови и поддержания жизнеспособности мозга.

Временной промежуток между наступлением клинической смерти и началом реанимационных мероприятий является одним из наиболее важных факторов, влияющих на выживаемость. В связи с этим чрезвычайно важным параметром технических средств контроля проведения реанимационных мероприятий является оперативность процедуры запуска, включающей расположение датчиков на теле пациента. Простота расположения датчиков является особенно важным при проведении реанимационных мероприятий людьми, не обладающими специальными медицинскими навыками.

Исходя из необходимости оперативного расположения датчиков на теле пациента, наиболее подходящим методом регистрации данных о состоянии кровотока является метод анализа акустических данных. Применение этого метода позволяет избежать использования сложных схем расположения датчиков, а так же токопроводящих и электропроводящих гелей, необходимых для работы методов на основе электрокардиографии и ультразвуковых методов исследования. Также важной отличительной особенностью акустического метода является возможность оценивать наличие шумов кровотока, возникающие в результате проведения НМС. Кроме

этого, использование акустического метода позволяет избежать влияния электрических помех различной природы.

Для выполнения функций оценки качества проведения реанимационных мероприятий и их корректировки были определены требования к составу функций устройства для контроля проведения сердечно-легочной реанимации:

- ◆ определение наличия кровотока в сонных артериях, что позволяет оценить корректность проведения непрямого массажа сердца и определить наличие собственного сердцебиения;
- ◆ координация действий реаниматора в ходе проведения СЛР с помощью световых и звуковых сигналов;
- ◆ оценка текущего состояния реанимируемого и возможного использования в качестве простейшего монитора состояния пациента.

Устройства было решено реализовать в виде портативного прибора, имеющего в своем составе пульт, включающий в себя органы управления и индикации, и воротник с набором акустических датчиков, регистрирующих шумы кровотока в местах бифуркаций сонных артерий реанимируемого (рис. 1).

Общий алгоритм работы аппаратной части устройства можно представить следующим образом. Пьезоакустические преобразователи, расположенные на сонных артериях реанимируемого, улавливают слабые звуковые сигналы и преобразуют их в электрические сигналы. Пройдя через блок буферного усилителя и блок фильтрации, сигналы усиливаются и фильтруются с целью уменьшения влияния помех и посторонних шумов. Пройдя через блок усилителя с регулируемым коэффициентом усиления, сигналы нормируются и попадают на вход аналого-цифрового преобразователя, интегрированного в микроконтроллер. Далее блок микроконтроллера производит преобразование аналогового сигнала в цифровой код, его обработку и анализ при помощи программно-алгоритмического комплекса, в соответствии с результатами работы которого воспроизводится визуальная и звуковая сигнализация о ходе проведения процедуры СЛР. Отображение состояния пациента и режима работы Устройства, а также его управление производится с помощью блока органов управления и индикации. Устройство работает от автономного блока питания, необходимого для формирования и поддержания в нужном диапазоне напряжений питания составных блоков устройства при изменяющемся из-за разряда питающих элементов входном напряжении.

Алгоритмы, входящие в состав разрабатываемого программно-алгоритмического комплекса предназна-



Рис. 1. Устройство на манекене для отработки навыков СЛР

чены для работы в блоке микроконтроллера устройства. Алгоритмы можно разделить на несколько групп:

1) алгоритмы предварительной обработки акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека, обеспечивающие удаление шумовой составляющей сигнала, препятствующей работе алгоритмов определения наличия динамики шумов кровотока и подсчета компрессий при проведении НМС;

2) алгоритмы определения наличия шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий, с целью контроля проведения НМС и контроля наличия самостоятельной сердечной деятельности пациента;

3) алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС.

Для решения задач предварительной обработки акустического сигнала был выбран полиномиальный фильтр Баттерворта. Основным его преимуществом является минимальное искажение сигнала в полосе пропускания. Частотный диапазон шумов кровотока в местах бифуркаций сонных артерий лежит в пределах от 20 до 60 Гц. Выделение из акустического сигнала полезного диапазона частот возможно в результате использования последовательного включения каскадов высоко- и низкочастотных фильтров Баттерворта.

После предварительной обработки сигнал передается на вход алгоритмов определения наличия шумов кровотока, обеспечивающих поиск участков сигнала, соответствующих искомым состояниям кровотока в местах бифуркаций сонных артерий человека, возникающих на различных стадиях проведения СЛР. Примерами искомых состояний является:

- ◆ наличие шумов кровотока, соответствующих собственному сердцебиению;
- ◆ наличие шумов кровотока, соответствующих НМС;
- ◆ отсутствие шумов кровотока.

Каждому состоянию соответствует информационное представление, то есть набор характеристических фрагментов сигнала, обладающих определенными параметрами, такими как:

- ◆ степень вклада некоторой полосы частот в спектр участка сигнала;
- ◆ скорость изменения амплитуды сигнала на участке.

Первым этапом работы алгоритма, является поиск характеристических фрагментов сигнала. Далее происходит определение состояния кровотока. Для этого рассматривается расположение обнаруженных характеристических фрагментов на сигнале — последовательность, длительность фрагментов, а так же длительность интервалов между ними.

После определения наличия сердечных сокращений, запускаются алгоритмы подсчета количества компрессий при проведении НМС. Алгоритм основан на вычислении энергии Шеннона акустического сигнала сердечно-сосудистой системы человека. В ходе работы алгоритмов происходит создание массива значений энергии Шеннона анализируемого сигнала, а так же нормализация, обработка сигнала медианным и пороговым фильтром.

Нормализация и медианная фильтрация массива, содержащего значения энергии Шеннона акустического сигнала, позволяет дополнительно обработать результаты вычисления энергии Шеннона с целью устранения «мусорных» ее значений, анализ которых может привести к возрастанию погрешности. Нормализация входного вектора, в качестве которого выступает вектор значений энергии Шеннона, можно проводить путем деления значения каждого элемента этого вектора

на рассчитанное значение квадрата дисперсии анализируемых данных.

Далее проводится пороговая фильтрация массива значений энергии Шеннона, которая позволяет осуществить первоначальное выделение пиков энергетических выбросов, соответствующих сердечным сокращениям. Опытным путем была определена величина порогового значения, равная 40% от максимального значения анализируемого массива данных. В результате работы данной функции формируется массив данных, содержащий единичные пики, соответствующие энергетическим выбросам акустического сигнала. В некоторых случаях, одному сердечному сокращению может соответствовать группа близкорасположенных пиков, для объединения которых, используется параметр, характеризующий минимальный временной интервал между пиками, соответствующими разным сердечным сокращениям. Значение этого параметра установлено в ходе литературного обзора и составляет 250–300 мс.

Описанные принципы и алгоритмы были использованы в составе Устройства для контроля процедуры сердечно-легочной реанимации человека, разрабатываемого в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от «28» ноября 2014 г. № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы».

Разработка Устройства проводилась в рамках Соглашения о предоставлении субсидии от «28» ноября 2014 г. № 14.578.21.0078 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0078) ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы».

ЛИТЕРАТУРА

1. Улумбекова Г. Э. Здравоохранение России. Что надо делать. Научное обоснование «Стратегии развития здравоохранения РФ до 2020 года. Краткая версия — М: ГЭОТАР-Медиа, 2010. — 96с.
2. Benjamin S. Abella, MD, MPhil; Jason P. Alvarado, BA; Helge Myklebust, BEng; Dana P. Edelson, MD; Anne Barry, RN, MBA; Nicholas O’Hearn, RN, MSN; Terry L. Vanden Hoek, MD; Lance B. Becker, MD. Quality of Cardiopulmonary Resuscitation During In-Hospital Cardiac Arrest. // JAMA. 2005;293(3):305–310.
3. Семиголовский Н. Ю., Гайденоко Г. В., Малашенко А. В. Новые алгоритмы реанимации и летальность острых коронарных больных // Актуальные вопросы клинической патоморфологии: Сб. трудов научн. конф. — Санкт-Петербург: МАПО, 2000. С. 168.;
4. Семиголовский Н. Ю., Иванова Е. В., Верцинский Е. К. и др. Алгоритм сердечно-легочной реанимации в стационаре кардиологического профиля // Анестезиология и реаниматология. 2001, № 4. С. 47–49.

© Куцов Михаил Сергеевич (mihail-kucov@mail.ru), Костелей Яна Валерьевна (yaninabaler@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»