

9. Hilsch R. The use of the expansion of gases in a centrifugal field as a cooling process // Review of Scientific Instrument. 1947. Vol. 18. № 2. PP. 108-113.
10. Eiamsa-ard S., Promvong P. Review of Ranque-Hilsch effects in vortex tubes // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. Vol. 12. PP. 1822-1842.
11. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
12. <http://airflow-expert.ru/pdf/exair%202017/VortexTubes.pdf> (дата обращения: 2019.05.31).
13. https://www.etalonpribor.ru/catalog/multimetri/product/m890g_multimetr/ (дата обращения: 2019.05.31).
14. https://www.compressor-mash.ru/kompressor_remeza_sb4_16_gms150kd.html (дата обращения: 2019.05.31).
15. https://www.etalonpribor.ru/catalog/izmeriteli_shuma/product/CENTER_390_-_shumomer/ (дата обращения: 2019.05.31).
16. ГОСТ 2337–2014 Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.
17. Азаров А.И. Вихревые трубы в промышленности. Изобретатель – машиностроению. Энергосбережение и вихревой эффект: исследование и освоение инновационных проектов. – СПб.: Издательство «ЛЕМА», 2010. 170 с.
18. Мизин В.М., Татаренко Ю.В., Рачковский Н.О. К вопросу эффективности применения хладонов // Омский научный вестник. 2018. Т. 2. № 4. С. 29-35.
19. <http://eurosmmed.ru/catalog/apparaty-krioterapii?yclid=3388615913727883090> (дата обращения: 2019.05.31).
20. http://airflow-expert.ru/catalog/vikhrevye_trubki_1/ (дата обращения: 2019.05.31).
21. Ворончихин С.Г., Туев М.А. Установка для локальной криотерапии / Патент РФ на полезную модель № 172562. Опубликовано 12.07.2017 г.

Сергей Геннадьевич Ворончихин,
канд. техн. наук, доцент,
зав. кафедрой физики
и методики обучения физике,
ФГБОУ ВО «Вятский
государственный университет»
Михаил Алексеевич Туев,
инженер 1 категории,
КОГБУЗ «Кировская областная
клиническая больница»,
аспирант,
кафедра инженерной физики,
ФГБОУ ВО «Вятский
государственный университет»,
г. Киров,
e-mail: nolinsk94@yandex.ru

Ю.Г. Горшков, А.К. Волков, Н.А. Войнова, С.И. Щукин

Средства акустокардиографии с оценкой эмоциональной напряженности по голосу

Аннотация

Рассмотрены аппаратно-программные средства съема акустических сигналов сердца и речи пациентов при акустокардиографическом обследовании. Представлены возможности разработанного программного обеспечения визуализации звуков сердца и биометрических маркеров уровня эмоциональной напряженности по голосу. Приведены результаты пилотного исследования при решении задач экспресс-кардиодиагностики в дистанционном режиме.

Введение

В последние годы как в нашей стране, так и за рубежом в диагностике заболеваний сердца все большее применение находит акустокардиография. Такие достоинства, как неинвазивность, высокая точность, а также сравнительно невысокая стоимость оборудования, создают предпосылки для применения акустокардиографии в целях дистанционного биомониторинга, в том числе в системах домашней телемедицины [1]. В связи с вступлением в нашей стране с 1 января 2018 года в силу Приказа Минздрава РФ [2], решение задач, направленных на создание новых средств удаленной комплексной диагностики нарушений сердечной деятельности, следует отнести к актуальным.

Акустокардиография (АКГ) – метод акустофизиологического исследования работы сердца в норме и патологии, основанный на регистрации и многоуровневом вейвлет-анализе сигналов тонов и шумов сердца. Съём акустических сигналов осуществляется с использованием специализированного прибора, состоящего из конденсаторного цифрового микрофона и устройства крепления на теле обследуемого. Получаемое изображение «видимый звук» сердца (вейвлет-сонограмма), или акустокардиограмма, отображает незначительные отклонения в работе сердца. Акустокардиография является развитием распространенного метода диагностического исследования сердца – фонокардиографии (ФКГ) [3]-[9]. Используемая в акустокардиографии технология многоуровневого вейвлет-

анализа акустических сигналов позволяет не только выявлять незначительные изменения в работе сердца, но и определять параметры шумов малого уровня. При анализе полученных данных важно учитывать эмоциональное состояние обследуемого, или уровень эмоциональной напряженности.

Акустокардиографическое обследование включает в себя 3 этапа: запись звуковых сигналов сердца; построение и документирование акустокардиограмм; анализ полученных акустокардиограмм и составление заключения специалистом-кардиологом. Может применяться как при первичном, так и при углубленном кардиологическом обследовании [10].

Первичное кардиологическое обследование. При проведении первичного обследования осуществляется регистрация на персональный компьютер (ПК) сигналов в одной из точек аускультации сердца. Существенным преимуществом данной технологии является то, что регистрацию звуковых сигналов сердца может осуществлять как средний медперсонал, так и пациент самостоятельно при наличии у него компьютера с выходом в Интернет, модуля с цифровым микрофоном и звукового редактора. Для этого необходимо научиться закреплять микрофон в одной из точек аускультации сердца и освоить работу с программой записи. Полученный wav-файл длительностью не менее 1 мин отправляют по электронной почте в кардиологический центр для обработки и анализа.

Углубленное кардиологическое обследование. Осуществляется специалистом-кардиологом с использованием аппаратных средств регистрации звуковых сигналов сердца, программно-

го обеспечения «WaveView ACG» («НПО «Эшелон», Россия) получения акустокардиограмм с их последующим анализом. При проведении анализа сигналов сердца на мониторе ПК можно отобразить акустокардиограммы с различным разрешением, а также документировать детальную частотно-временную структуру работы сердца в диапазоне от 1...5 Гц до 4 кГц (как известно, наибольшая чувствительность человеческого слуха находится в диапазоне 2,5...5 кГц). Длительность записей может составлять от нескольких секунд до нескольких минут.

Для создания широкодоступных универсальных средств кардиодиагностики с оценкой уровня эмоциональной напряженности обследуемого разработаны аппаратно-программные средства съема, регистрации и обработки звуков сердца, речевых сигналов.

Средства съема акустических сигналов сердца и речи

В качестве устройства съема звуков сердца и речевых сигналов используется ларингофонная гарнитура с малогабаритным конденсаторным цифровым USB-микрофоном. Гарнитура закрепляется в области шеи, обеспечивает съем звуков сердца, речи, а также аналого-цифровое преобразование сигналов. Тракт регистрации включает в себя «USB Desktop Microphone» («Logitech», США) и звуковой редактор «AD Sound Recorder» («Adrosoft»). Формат записи WAV, режим mono, частота дискретизации 11025 Гц, разрядность 16 бит.

Программное обеспечение получения акустокардиограмм и вейвлет-сонограмм речи

Программа «WaveView ACG» является высокоточным средством обработки и визуализации частотно-временных характеристик звуков сердца и речевого сигнала с использованием технологии многоуровневого вейвлет-анализа (МВА) [11]–[16]. Входит в состав портала «acustocard.ru» («НПО «Эшелон», Россия) дистанционной обработки записей фонокардиограмм

и речи [17]. В ней реализованы алгоритмы построения акустокардиограмм и вейвлет-сонограмм речи, характеризующих эмоциональную напряженность диктора. В качестве материнского вейвлета в программе «WaveView ACG» могут быть использованы вейвлеты: Морле, Шеннона, «мексиканская шляпа».

Вейвлет-сонограмма – это диаграмма, на которой по оси абсцисс откладывается время, по оси ординат – частота, а амплитуда соответствующей частотной составляющей отображается интенсивностью черного цвета в данной точке графика. При построении сонограммы для каждого момента времени вычисляются значения спектра сигнала по заданным параметрам вейвлет-преобразования. Полученные данные амплитуд – значения одного столбца графика. Вейвлет-сонограмма обеспечивает высокое частотно-временное разрешение исследуемого сигнала.

Акустокардиограмма строится аналогично вейвлет-сонограмме, исходным сигналом является запись фонокардиограммы, или акустических сигналов сердца. На *рис. 1* представлена акустокардиограмма пациента: работа сердца в норме.

Возможности программных средств портала «WaveView ACG» получения акустокардиограмм сердца: обеспечивается дистанционная обработка аудиофайлов, зарегистрированных в форматах wav(wave) или mp3 длительностью до 8 с; частотный диапазон акустокардиограмм от 10 Гц до 1 кГц. На главной странице Интернет-портала «acustocard.ru» рассмотрен пример анализа акустокардиограммы, полученной в результате обработки одной из записей фонокардиограмм, размещенных на российском медицинском сайте.

Методика оценки уровня эмоциональной напряженности диктора по голосу разработана с использованием технологии МВА [18]–[20]. За период 2003-2017 гг. сформирована и обработана база данных аудиозаписей 868 студентов 6-го курса, находящихся в условиях повышенной эмоциональной нагрузки при сдаче экзамена и защите дипломного проекта. Выявлены биометрические маркеры, характеризующие уровень эмо-

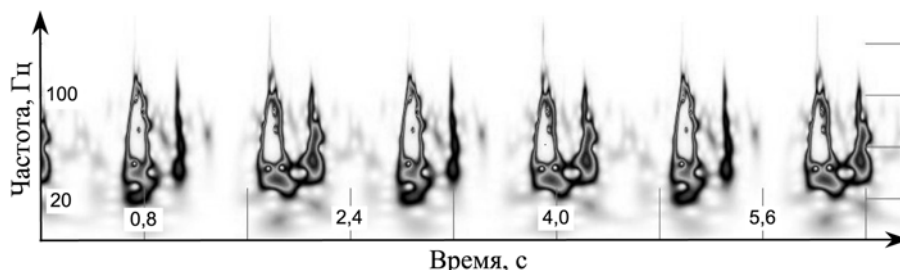


Рис. 1. Акустокардиограмма пациента: работа сердца в норме

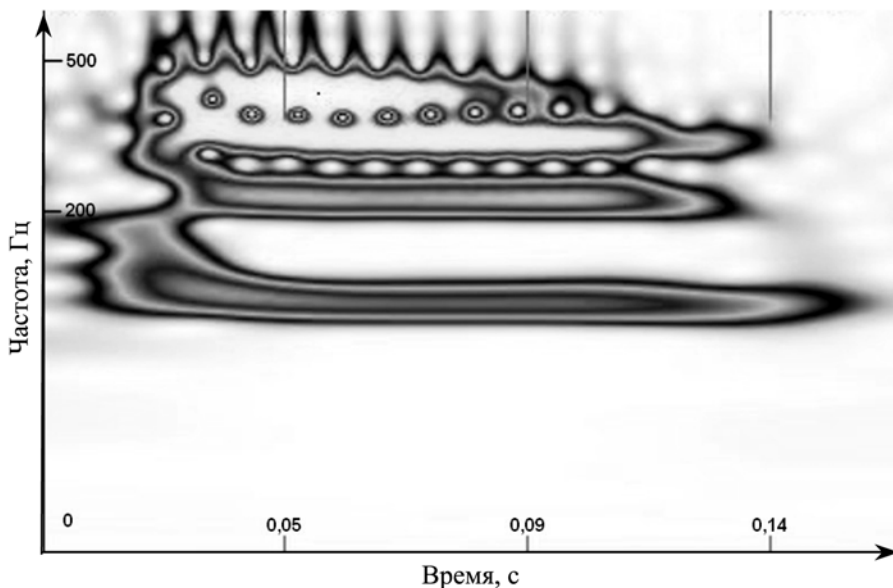


Рис. 2. Вейвлет-сонограмма речи без эмоциональной напряженности

циональной напряженности диктора. В качестве контрольных (эмоционально-нейтральных) записей использовались тестовые фразы речи студентов, зарегистрированные ими самостоятельно при выполнении лабораторной работы.

На рис. 2 представлена вейвлет-сонограмма речи без эмоциональной напряженности.

На рис. 3 представлена вейвлет-сонограмма речи с высоким уровнем эмоциональной напряженности. Биометрические маркеры эмоциональной напряженности: М – «микросодрогание» голосовых складок; Д – «деформация» тонального участка речи; Т – низкочастотный «тремор».

Экспериментальная апробация

В Научно-образовательном медико-технологическом центре МГТУ им. Н.Э. Баумана апробация разработанных средств была выполнена в ходе проведения экспериментальных исследований по экспресс-кардиодиагностике студентов. У группы студентов в дистанционном режиме с использованием портала «acustocard.ru» была выполнена обработка записей акустических сигналов сердца и речи. У одного из 13 обследуемых было выявлено нарушение сердечного ритма, или аритмия (рис. 4). Оценка уровня эмоциональной напряженности по речевому сигналу показала, что у всех обследуемых он был в норме.

Заключение

Акустокардиография находит все большее применение в диагностике сердечной недостаточности. Используемая при акустографическом обследовании технология многоуровневого вейвлет-анализа акустических сигналов сердца позволяет выявлять изменения в его работе на ранних стадиях заболевания; полученные сонограммы речи позволяют оценить уровень эмоциональной напряженности пациента.

Применение малогабаритных средства съема звуков сердца и речевых сигналов, разработанного программного обеспечения «WaveView ACG», а также портала «acustocard.ru» позволяет решать задачи экспресс-кардиодиагностики пациентов в условиях телемедицины как для дистанционного мониторинга, так и при скрининге сердечно-сосудистых заболеваний.

Портал «acustocard.ru» находит применение в учебном процессе: используется студентами 6-го курса кафедры «Биомедицинские технические системы» (БМТ-1) и «Медико-технические и информационные технологии» (БМТ-2) МГТУ им. Н.Э. Баумана при освоении курса «Анализ акустических биомедицинских сигналов. Защита биометрической информации».

Список литературы:

1. Горшков Ю.Г. Обработка речевых и акустических биомедицинских сигналов на основе вейвлетов. – М.: Радиотехника, 2017. 240 с.
2. Приказ Минздрава РФ от 30 ноября 2017 г. № 965н «Об утверждении порядка организации и оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий».
3. Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Юрасова Е.С., Комлев А.Е., Имаев Т.Э. Фонокардиография: новые возможности в свете цифровых технологий // Кардиологический вестник. 2018. Т. 13. № 2. С. 15-21.
4. Никитин В.М., Муромцев В.В., Анохин Д.А. Программно-аппаратный комплекс для фонокардиографических исследований // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2012. № 13-1 (23). С. 128-134.

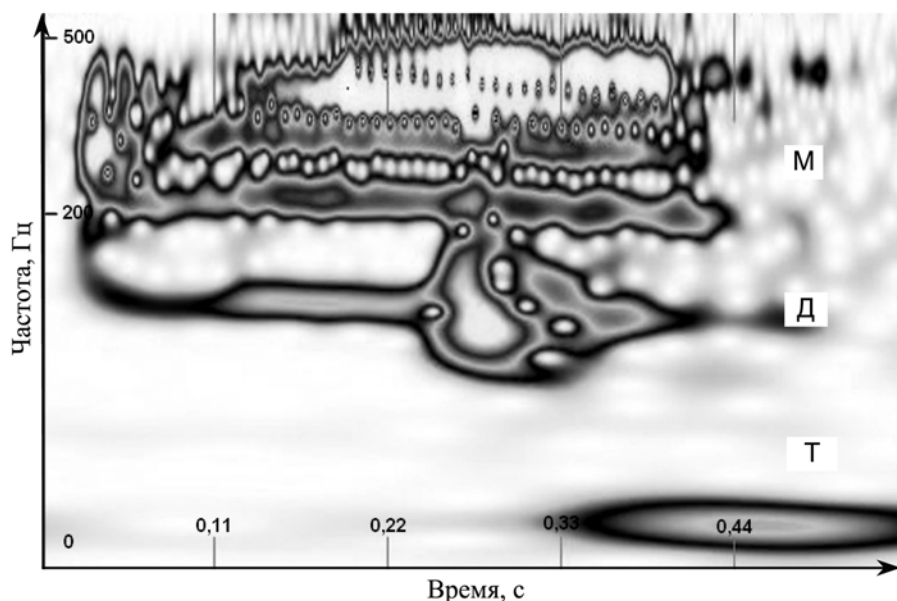


Рис. 3. Вейвлет-сонограмма речи с высоким уровнем эмоциональной напряженности. Биометрические маркеры: М – «микросодрогание» голосовых складок; Д – «деформация» тонального участка речи; Т – низкочастотный «тремор»

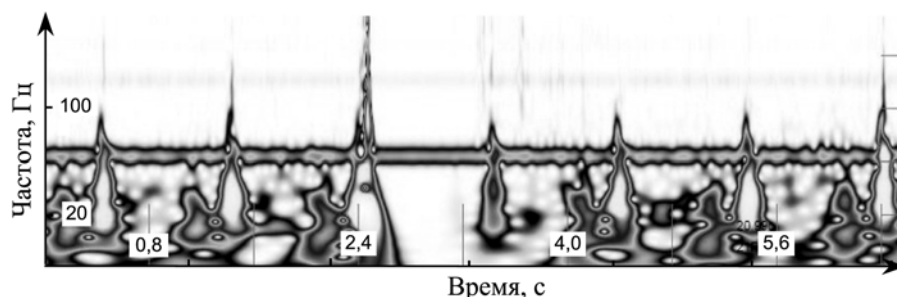


Рис. 4. Акустокардиограмма с нарушением сердечного ритма (аритмия). На частоте 50 Гц – фон сети питания малого уровня

5. Ульянычев Н.В., Перельман Ю.М., Ульянычева В.Ф. Удаленный беспроводной контроль тонов сердца и процесса дыхания // Информатика и системы управления. 2014. № 2 (40). С. 173-177.
6. Wen Y.N., Lee A.P., Fang F., Jin C.N., Yu C.M. Beyond auscultation: Acoustic cardiography in clinical practice // Int. J. Cardiol. 2014. Vol. 172. № 3. PP. 548-560.
7. Квочкин Д.О., Вереутин В.А. Программно-аппаратный комплекс для проведения дистанционной электронной фонокардиографии // Juvenis scientia. 2017. № 3. PP. 4-5.
8. Pyles L., Hemmati P., Pan J., Yu X., Liu K., Wang J., Tsakistos A., Zheleva B., Shao W., Ni Q. Initial Field Test of a Cloud-Based Cardiac Auscultation System to Determine Murmur Etiology in Rural China // Pediatr. Cardiol. 2017. Vol. 38. № 4. PP. 656-662.
9. Bauer P., Arand P., Radovanovic D., Muggli F., Schoenenberger A.W. et al. Assessment of Cardiac Function and Prevalence of Sleep Disordered Breathing Using Ambulatory Monitoring with Acoustic Cardiography – Initial Results from SWICOS // Journal of Hypertension and Cardiology. 2018. Vol. 2. № 3. PP. 32-46.
10. Горшков Ю.Г. Разработка комплекса аппаратно-программных средств для ранней диагностики заболеваний сердца «Акустокардиограф» / Материалы, представленные на конкурс «Пурпурное сердце». Ежегодная национальная премия в области кардиологии, номинация «Научный проект года». – М., 2009. 10 с.
11. Горшков Ю.Г. Получение и обработка многоуровневых частотно-временных акустокардиограмм // Медицинская техника. 2013. № 1. С. 15-17.
12. Горшков Ю.Г. Новые цифровые технологии обработки звуков сердца // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 8. С. 36-40.
13. Горшков Ю.Г. Новые компьютерные средства мониторинга функционального состояния человека / Материалы VI Всероссийской конференции «Функциональная диагностика-2014». Москва. 28-30 мая 2014 г. С. 32-33.
14. Gorshkov Y., Shchukin S. Early Detection of Heart Diseases on the Basis Multilevel Wavelet Analysis of Acoustic Signals / Proceedings X Russian-German conference on biomedical engineering. St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2014. PP. 38-41.
15. Горшков Ю.Г. Акустографическое исследование звуков сердца и легких // Биомедицинская радиоэлектроника. 2016. № 2. С. 16-21.
16. Горшков Ю.Г. Визуализация звуков сердца // Научная визуализация. 2017. Т. 9. № 1. С. 97-111.
17. Горшков Ю.Г., Каиндин А.М. Интернет-портал «АКУСТОКАРД» ранней диагностики заболеваний сердца / <http://acustocard.ru>.
18. Горшков Ю.Г. Оценка эмоционального состояния человека на основе многоуровневого вейвлет-анализа речи // Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. № 10. С. 64-70.
19. Горшков Ю.Г. Обработка речевых сигналов на основе вейвлетов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Т. 9. № 2. С. 46-53.
20. Горшков Ю.Г. Анализ стресса по голосу на основе многоуровневого вейвлет-преобразования // Специальная техника. 2015. № 4. С. 32-41.

Юрий Георгиевич Горшков,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Информационная безопасность» (ИУ-8),
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
Александр Кузьмич Волков,
д-р мед. наук, профессор, директор,
Научно-образовательный медико-технологический центр
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Наталья Александровна Войнова,
зам. директора,
Научно-образовательный медико-технологический центр
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
ассистент,
кафедра «Биомедицинские технические системы» (БМТ-1),
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
Сергей Игоревич Щукин,
д-р техн. наук, профессор, декан,
факультет «Биомедицинская техника»,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
г. Москва,
e-mail: y.gorshkov@npo-echelon.ru

О.Л. Бокерия, К.Г. Потловский, М.А. Бажин, Д.И. Минаев,
Т.Г. Ле, В.А. Шварц, А.С. Сатюкова

Преобразование сокращений сердца в электрическую энергию в эпикардиальном беспроводном электрокардиостимуляторе

Аннотация

Описывается принцип работы эпикардиального электрокардиостимулятора (ЭКС) с микроэлектромеханическим (МЭМС) преобразователем у пациентов с сердечно-сосудистой патологией. Подробно описаны биологические испытания данного устройства у пациента с нарушением ритма после кардиохирургической операции. Проведен корреляционный анализ всех показателей устройства на входе для получения высоких показателей мощности на выходе МЭМС для обеспечения дальнейшей эффективной работы электрокардиостимулятора.

Введение

В современной кардиохирургии применяются имплантируемые устройства для стимуляции или замещения функций некоторых органов, например кардиостимуляторы –водители ритма сердца или кардиовертеры-дефибрилляторы, для электротерапии жизнеугрожающих аритмий сердца. Срок службы подобных устройств, или плановый межоперационный период, в основном ограничивается емкостью используемого в

них гальванического источника питания и обычно составляет 5...7 лет, после чего выполняется повторная операция –реимплантация устройства. Очевидным, на первый взгляд, решением данной проблемы является увеличение электрической емкости источника питания, что понятным образом приводит к увеличению массы и габаритов устройства и может вызвать дискомфорт или привести к развитию побочных эффектов.

В 2013 году в НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН был разработан, изготовлен и испытан однокамерный ЭКС для эпи-