

Получение и обработка многоуровневых частотно-временных акустокардиограмм

Аннотация

Звуки сердца, прежде всего низкочастотные колебания малого уровня, не могут быть услышаны в полном объеме. Это является причиной того, почему цифровая запись и анализ этих колебаний обеспечивают получение информации, которая не может быть воспринята ухом врача.

Средства «Акустокардиограф» обеспечивают обработку и получение многоуровневого частотно-временного вейвлет-представления (акустокардиограмм) тонов и шумов сердца с целью проведения диагностических кардиологических исследований. Представлены примеры получения акустокардиограмм и основные характеристики частотно-временного анализа тонов и шумов сердца при различных заболеваниях.

По мнению исследователей, многие дипломированные медицинские специалисты не могут должным образом диагностировать болезни сердца, используя стетоскопы. Существующая методика аускультации не позволяет выявлять ранние стадии заболеваний сердца, признаками которых является появление незначительных шумов и сигналов малых уровней. Слабая же чувствительность человеческого уха к низкочастотным звукам сердца делает эту задачу еще более трудной.

Первое изображение частотной характеристики слухового тракта представлено в 1976 году [1]. В работе R.F. Rushmer отмечается, что человеческое ухо намного более чувствительно к сигналам речевого диапазона 1000...2000 Гц. Звуки сердца – это прежде всего низкочастотные колебания малого уровня. Из анализа характеристики слуховой чувствительности (рис. 1) к различным сигналам следует, что при проведении аускультации врач слышит лишь незначительную высокочастотную часть звуков сердца.

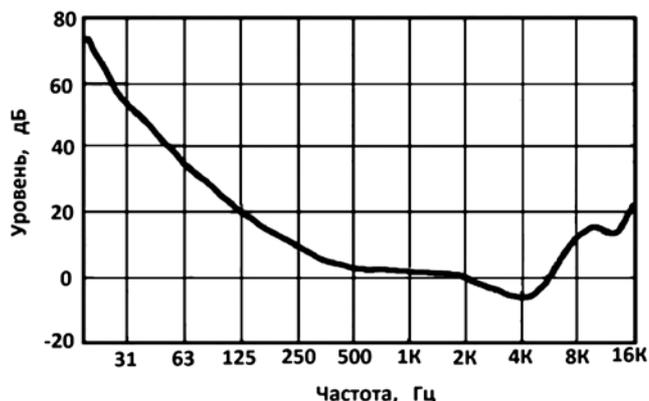


Рис. 1. Характеристика слуховой чувствительности

Средства электрокардиографии (ЭКГ) имеют низкую восприимчивость к незначительным отклонениям в работе сердца.

К недостаткам средств ЭКГ, использующих съем и обработку электрических потенциалов сердца, относятся следующие: данные средства не позволяют выявить наличие шумов сердца, напрямую не диагностируют пороки и опухоли сердца, не отражают гемодинамику; для них характерна кратковременность записи (что иногда приходится дополнять методом мониторинга по Холтеру – метод длительной, 1-2 суток, регистрации показателей ЭКГ); тест, взятый в состоянии покоя, может не выявить имеющееся заболевание (дополняется ЭКГ с нагрузкой); высокая стоимость. Прибор «Кардиовизор-06С» [2] (разработчик ОАО «Диод», Россия) обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с классическими комплексами ЭКГ за счет применения специальных алгоритмов обработки низкоамплитудных флуктуаций сигналов. В то же время прибору

«Кардиовизор-06С» присущ недостаток, свойственный классическим комплексам ЭКГ, – незначительная информативность электрических потенциалов как среды передачи сложной, многоуровневой нестационарной информации работы сердечно-сосудистой системы человека.

Фонокардиография (ФКГ), метод исследования и диагностики нарушений деятельности сердца, незначительно объективизирует данные аускультации, дополняя ее значениями амплитуды сигналов тонов и шумов сердца, а также распределениями их длительности и интервалов между ними. Приборы ФКГ включают в себя микрофон, частотные фильтры, совмещенные с усилителями поступающих от микрофона сигналов, регистрирующее устройство. Обычно запись производят одновременно на разных частотных каналах регистратора в низко-, средне- и высокочастотном диапазоне синхронно с записью ЭКГ. Фонокардиография при незначительной информативности обладает рядом недостатков: необходимо выделение специально оборудованного звукоизолированного помещения с температурой не ниже 18 °С; обследуемый должен находиться в горизонтальном положении на спине; закрепление микрофона и непосредственно запись сигналов ФКГ осуществляет медицинский персонал.

Направлению частотно-временного представления работы сердца по акустическим сигналам за последние годы посвящено значительное количество работ [3]-[6].

Так, например, одна из международных компаний «BioSignetics Corporation (Digital Stethoscope Company)» предлагает программный продукт получения частотных компонент звуков сердца «Phonocardiograph Monitor Software», Version 3.7. На сайте компании [7] представлен пример фонокардиограммы, зарегистрированной электронным стетоскопом, и полученные в результате ее обработки частотные компоненты звуков сердца (рис. 2).

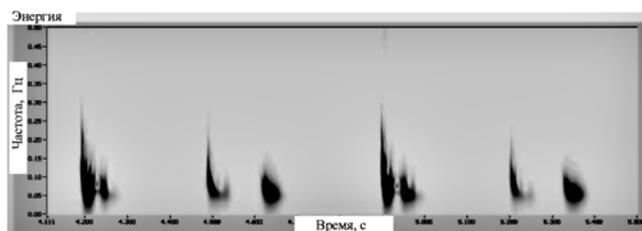


Рис. 2. Частотные компоненты звуков сердца, полученные программой «Phonocardiograph Monitor Software», Version 3.7

Анализ данных частотного представления фонокардиограммы (рис. 2), полученных программой «Phonocardiograph Monitor Software», Version 3.7, показал достаточно низкое разрешение изображения «видимый звук» за счет недостатков используемой технологии Фурье-преобразования при обработке нестационарных сигналов, к которым относятся тоны и шумы сердца.

Материалы и методы

В Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана с использованием разработанного комплекса частотно-временного анализа нестационарных сигналов [8] проведены исследования по выбору аппаратно-программных средств, адаптированных под высокоточную обработку сигналов акустического поля сердца. Разработаны аппаратно-программные средства съема и обработки сигналов тонов и шумов сердца «Акустокардиограф», включающие в себя:

- устройство съема сигналов акустического поля сердца А-1 (малогабаритный конденсаторный USB-микрофон с креплением);
- модуль аналого-цифрового преобразования;
- программное обеспечение (ПО) «Регистратор 2.11» (ввод сигналов в ПК, запись в формате VAW, редактирование зарегистрированных файлов акустограмм, архивирование и ведение базы данных);
- специальное программное обеспечение (СПО) «WaveView-ACG» получения акустокардиограмм или изображений «видимый звук» с использованием многоуровневого вейвлет-анализа (МВА) звуковых сигналов сердца по заданным параметрам.

Разработка аппаратно-программных средств «Акустокардиограф» в 2009 году отмечена национальной премией России в области кардиологии «Пурпурное сердце», номинация «Научный проект года» [9].

Внешний вид устройства съема сигналов акустического поля сердца А-1 представлен на рис. 3. Устройство достаточно просто закрепляется пациентом в одной из точек аускультации, например в проекции «верхушка» сердца, в положении сидя. Время записи – 10...30 с.

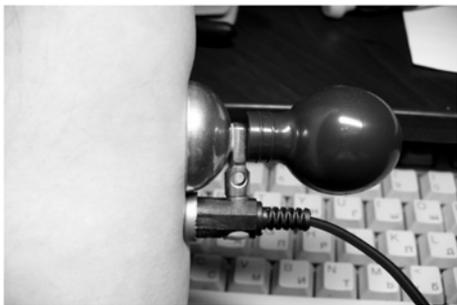


Рис. 3. Устройство съема сигналов акустического поля сердца А-1

В табл. 1 приведены данные результатов тестирования малогабаритного конденсаторного микрофона «USB Desktop Microphone» (Logitech), используемого в устройстве съема А-1.

Таблица 1

Данные результатов тестирования USB-микрофона

Параметры «USB Desktop Microphone» (Logitech)	Значения
	Тестовый сигнал: 16 бит 44,1 кГц
Неравномерность АЧХ в полосе частот 40 Гц...15 кГц, дБ	+11,82, -28,73
Уровень шума, дБ	-64,3
Динамический диапазон, дБ	64,3
Нелинейные искажения, %	0,137
Интермодуляционные искажения + шум, %	1,493

На рис. 4 представлен вид главного окна СПО «WaveView-ACG».

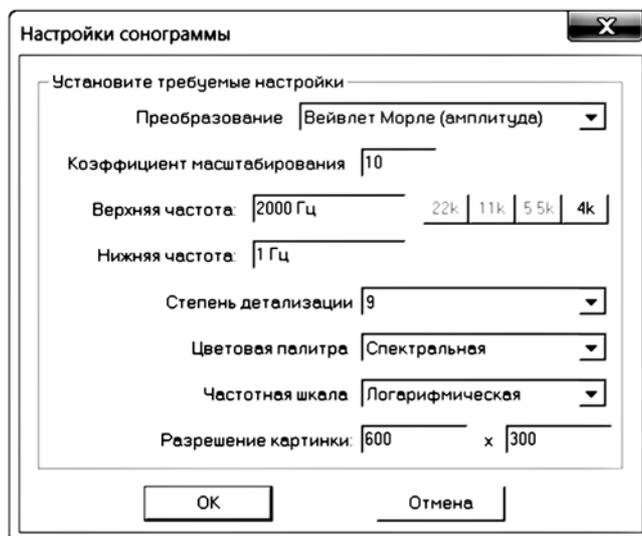


Рис. 4. Вид главного окна СПО «WaveView-ACG» получения акустокардиограммы (сонограммы). Исходные данные: материнский вейвлет Морле, полоса частот 1...2000 Гц

Результаты и обсуждение

На рис. 5 представлена акустокардиограмма, полученная в результате обработки СПО «WaveView-ACG» записи фонограммы, именуемой как «нормальная» работа сердца (запись представлена на сайте <http://medknigi.blogspot.com>, формат mp3).

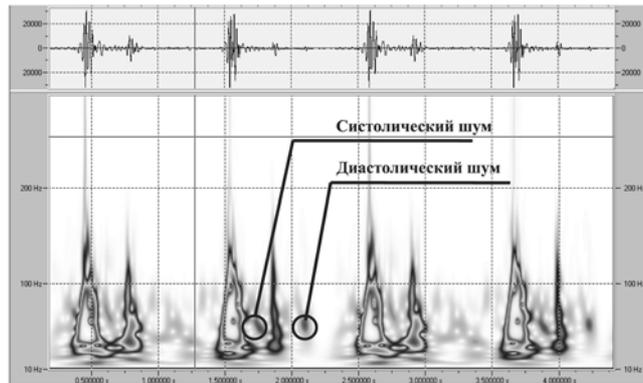


Рис. 5. Акустокардиограмма, «верхушка». «Нормальная» работа сердца: значения частот систолического шума – 47...63 Гц, длительность – 70 мс; значения частот диастолического шума – 52...61 Гц, длительность – 30 мс

Следует предположить, что заключение о «нормальной» работе сердца сделано по результатам аускультации сердца пациента или данным ЭКГ.

Анализ полученных акустокардиограмм показал, что на протяжении всей записи (12 с) выявлена закономерность: строгое повторение частотно-временной структуры «нечетных» и «четных» пар 1-го и 2-го тонов сердца. Видно, что для 2-й и 4-й пар тонов сердца наметились незначительные «очаги» зарождающихся систолического и диастолического шумов. Данный признак, характеризующий раннюю стадию заболевания клапанного аппарата сердца, устойчиво проявляется на всей записи.

В табл. 2 для сравнения представлены основные технико-экономические показатели распространенной ап-

Основные технико-экономические показатели аппаратуры диагностики заболеваний сердца

№ п/п	Наименование аппаратуры	Используемые сигналы	Измеряемые параметры	Возможность ранней диагностики заболеваний сердца	Цена, руб.
1	Электрокардиограф ECG-9812, Германия	Электрические потенциалы сердца	Данные четырех из десяти фаз сердечного цикла	Нет	107 000
2	Монитор ЭКГ носимый холтеровский, «Валента»	Электрические потенциалы сердца	Данные четырех из десяти фаз сердечного цикла	Нет	92 700
3	Эхокардиограф СХЕ-6600, США	Ультразвуковые сигналы при сканировании сердца	Параметры гемодинамики, морфология тканей сердца	Нет	750 000
4	«Акустокардиограф»	Акустические сигналы сердца	Частотно-временные характеристики тонов и шумов сердца с использованием технологии МВА	Да. Экспресс-диагностика: норма – отклонение – патология	28 000

паратуры диагностики заболеваний сердца и средств «Акустокардиограф».

В настоящее время в диагностике заболеваний сердца наиболее широкое применение находят приборы электрокардиографии. Из *табл. 2* видно, что суммарная стоимость комплекта приборов ЭКГ в составе электрокардиографа ECG-9812 и носимого холтеровского монитора ЭКГ «Валента» составляет 199700 руб. Аппаратура ультразвуковой диагностики – эхокардиографы; данные одного из образцов также представлены в *табл. 2*. Помимо высокой стоимости (СХЕ-6600 – 750000 руб.), данная аппаратура обладает существенным недостатком – воздействием сигналов ультразвуковых частот от 1 до 10 МГц на сердце человека. Стоимость аппаратно-программных средств «Акустокардиограф» составляет 28000 руб.

Для дистанционной обработки цифровых фонокардиограмм программным комплексом «WaveView-ACG» с целью получения изображений «видимый звук» сердца или акустокардиограмм создан портал «АКУСТОКАРД» (<http://acustocard.ru>) [10]. С использованием каналов Интернет могут обрабатываться фонокардиограммы длительностью до 8 с, зарегистрированные в форматах WAV или mp3.

В ходе опытной эксплуатации Интернет-портала получены уникальные изображения – «звуковые портреты» сердца (акустокардиограммы) при различных заболеваниях – по фонокардиограммам, представленным как на российских медицинских сайтах, так и на сайтах кардиоцентров США, в том числе American College of Cardiology и Children's Hospital Boston.

В 2010 году портал «АКУСТОКАРД» отмечен специальным дипломом конкурса разработок в области здравоохранения «Лучшая медицинская информационная система 2010» на XI специализированной конференции и выставке «Информационные технологии в медицине».

Выводы

1. Распространенные приборы диагностики заболеваний сердца обладают сравнительно низкой разрешающей способностью, высокой стоимостью и не позволяют выявлять незначительные изменения в работе сердца на ранних стадиях заболеваний.

2. Средства «Акустокардиограф», являясь развитием направления фонокардиографии, предоставляют кардиологам возможность высокоточного частотно-временного анализа тонов и шумов сердца; благодаря простоте и удобству применения могут быть рекомендованы для «домаш-

ней» телемедицины, предоставляя возможность пациенту самостоятельно осуществлять регистрацию и передачу по каналам Интернет акустических сигналов сердца в кардиоцентр для проведения экспресс-диагностики.

Список литературы:

1. *Rushmer R.F.* Cardiovascular Dynamics. 4th ed. – W.B. Saunders, Philadelphia, 1976.
2. Сула А.С., Рябыкина Г.В., Гришин В.Г. ЭКГ-анализатор «КардиоВизор-06С»: новые возможности выявления ишемии миокарда при скрининговых обследованиях и перспективы использования в функциональной диагностике // Функциональная диагностика. 2003. № 2.
3. *Amit G.* Heart Sound Analysis: Theory, Techniques and Applications / Advanced Research Seminar, May 2004.
4. *El-Segaier M., Lilja O., Lukkarinen S., Sorimo L., Sepponen R., Pesonen E.* Computer-based detection and analysis of heart sound and murmur // Ann. Biomed. Eng. 2005. Vol. 33 (7). PP. 937-942.
5. *Yuenyong S., Nishihara A., Kongprawechon W., Tungpimolrut K.* A framework for automatic heart sound analysis without segmentation. 2011 / <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/10/1/13>.
6. *Zheng X., Fu B., Fei X., Sekar B.D., Dong M.* Complexity and similarity approach based on heart sound murmurs for cardiac pathological status analysis / BICA'12 Proceedings of the 5th WSEAS Congress on Applied Computing Conference, and Proceedings of the 1st International Conference on Biologically Inspired Computation. 2012. PP. 206-211.
7. BioSignetics Corporation, Digital Stethoscope Company / <http://www.bsignetics.com>.
8. Горшков Ю.Г. Исследовательский комплекс частотно-временного анализа речевого сигнала с использованием вейвлет-технологии // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2011. № 4. С. 78-87.
9. 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». Москва, 2009. 10 с.
10. Защищенный Интернет-портал «АКУСТОКАРД» ранней диагностики заболеваний сердца / <http://acustocard.ru>.

Юрий Георгиевич Горшков,
канд. техн. наук, доцент,
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,
e-mail: y.gorshkov@npo-echelon.ru