

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА НА НАНОСЕНСОРАХ

М. Г. Григорьев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
[Mishatpu@sibmail.com](mailto:Mishatpu@sibmail.com)

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) опубликовала отчет о неинфекционных заболеваниях, которыми подвержено человечество. В основе этого отчета были статистические данные ставшие результатом проведенных исследований служб здравоохранения 193 стран. По данным ВОЗ, сердечно - сосудистые заболевания (ССЗ) являются виновниками 48% смертей, различные виды рака – 21%, хронические болезни дыхательных путей убивают 12% людей, а сахарный диабет – 3%. Из 58 млн смертей в 2008 году 36 млн были вызваны этими болезнями. Статистика указывает на то, что сердечно – сосудистые заболевания стремительно молодеют. Уже после 35 лет болезни сердца диагностируются у 10 % населения. Более 5 млн человек погибших от ССЗ умерли в достаточно молодом возрасте. Среди них 22% были мужчины и 35% составили женщины в экономически отсталых странах, а также 8% мужчин и 10% женщин из экономически развитых стран. В России, в 2008 году от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) погибли 1 млн. 232 тыс. 182 человека (рисунок 1) [1].

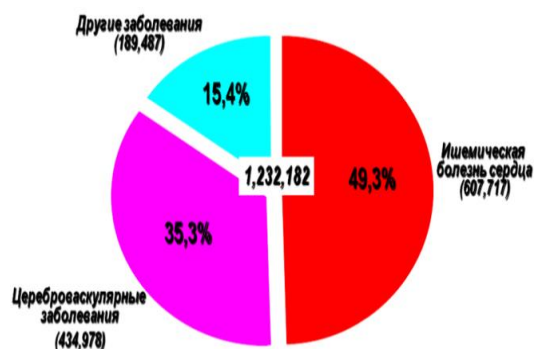


Рис.1. Отчет ВОЗ по ССЗ за 2008 г

Основным наиболее распространенным в медицинских учреждениях различного уровня является электрокардиографический (ЭКГ) метод исследования состояния сердечно-сосудистой системы человека. ЭКГ метод является методом функциональной диагностики с количественной оценкой результатов исследования. Впервые кардиографические исследования были проведены в конце 19-го века шотландским ученым Александром Мьюхэдом [2]. Тело представляет собой объемный проводник. Активная работа сердца приводит к генерации электромагнитного поля, которое может быть измерено на поверхности тела. Это поле в ходе возбуждения сердца постоянно меняется и характеристики этого поля в каждый момент вре-

мени зависят от того, в каком направлении движется по сердцу волна возбуждения. Изучение этого поля позволяет судить о последовательности возбуждения предсердий и желудочков.

Актуальным для совершенствования диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе и для ранней диагностики сердца взрослых, детей, младенцев и плода, является разработка нового поколения наносенсоров и компьютеризированной ЭКГ - аппаратуры высокого разрешения для применения в поликлиниках и в домашних условиях. Для решения данной задачи необходимо исследование численной модели распространения возбуждения в сердечной мышце. Возбуждение распространяется по сердечной ткани с определенной скоростью, различной для разных отделов сердца (рисунок 2).

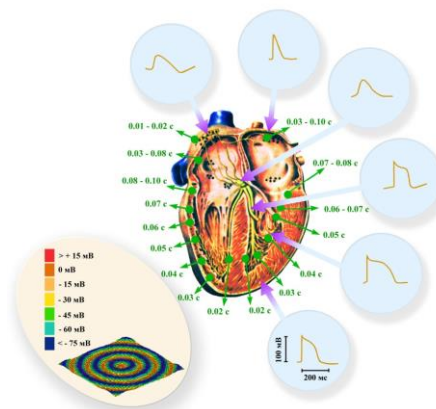


Рис.2. Схема пространственно-временной организации нормальной работы сердца человека

Зеленые надписи и стрелки указывают время прихода волны возбуждения в данную область сердца. Голубые врезки показывают форму профиля бегущей волны (т.н. «потенциала действия») в разных областях сердца, обусловленную различием свойств элементов возбудимой среды, которую формируют ткани сердца. Бежевая врезка — нормальное распространение бегущей волны возбуждения из пейсмекерной зоны в центре (синусового узла) в сторону краев (по рабочему миокарду) в простейшей имитационной математической модели [3].

В результате формируется пространственно-временная организация возбуждения сердца, обеспечивающая его функционирование. При моделировании процесса распространения возбуждения необходимо учитывать все особенности организации возбуждения в сердце.

Для моделирования распространения возбуждения предложена одна из простейших моделей возбудимых сред [4], двухкомпонентная модель Алиева-Панфилова. Модель реализована в виде уравнений типа «реакция – диффузия».

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -ku \cdot (u - a) \cdot (u - 1) - uv + \Delta u,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\left( \varepsilon_0 + \frac{\mu_1 v}{u + \mu_2} \right) \cdot (v + ku \cdot (u - a - 1))$$

где  $u(x, y, t)$  - безразмерная функция, соответствующая трансмембранному потенциалу, и  $v(x, y, t)$  - безразмерная функция, соответствующая медленному мембранному току восстановления. При этом связи между клетками сердечной мышцы описываются диффузионными членами уравнений, а динамика отдельной клетки – реакционными нелинейными членами уравнений. Проведя ряд экспериментов, были определены параметры модели, при которых система лучше всего соответствует свойствам сердечной мышцы:  $k = 8.0$ ,  $\varepsilon_0 = 0.01$ ,  $\mu_1 = 0.2$ ,  $\mu_2 = 0.3$ ,  $a = 0.15$ .

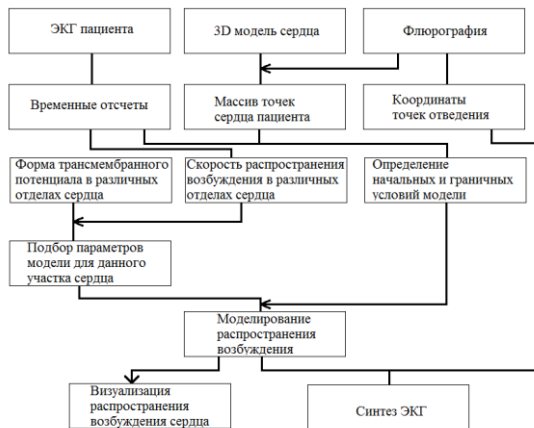


Рис.3. Алгоритм моделирования процесса распространения возбуждения в сердце

В основе предлагаемого способа оценки состояния пациента лежит совместное использование методов анализа, моделирования и визуализации кардиографической информации, позволяющее объединить решения прямой и обратной задач электрокардиографии в рамках одного обследования. Главное достоинство такого объединения заключается в возможности использования резуль-

татов моделирования для анализа состояния пациента. Для реализации моделирования процесса распространения возбуждения в сердце, в рамках концепции оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), на базе лаборатории № 63 института неразрушающего контроля предполагается разработка аппаратно – программного комплекса. Алгоритм работы АПК представлен на рисунке 3.

Согласно алгоритму сначала на основе анализа кардиографической информации осуществляется задание начальных и граничных условий модели, затем определяются параметры модели для различных анатомических отделов сердца, и моделируется распространение возбуждения. По результатам моделирования осуществляется визуализация распространения возбуждения на поверхности сердца пациента.

Использование модели электрической активности сердца позволяет определить «электрический портрет» сердца пациента в течении кардицикла, что дает возможность извлечения диагностических признаков при анализе косвенных параметров, определяемых на основе моделирования электрических процессов в сердце и выходных данных с электрокардиографа на наносенсорах-курса, в рамках которого студентам будет даваться этот материал. Таким образом, далее планируется провести полный комплекс работ, что и будет являться основой для продолжения работ по DocsVision.

### Литература

1. Сердечно - сосудистые заболевания. Информационный бюллетень N°317. // Сайт ВОЗ [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим па: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/ru/index.html>. – 11.02.2014.
2. Alexander Muirhead // Wikipedia.com: [Электронный ресурс]. – режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Muirhead](http://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Muirhead). - 11.02.2014.
3. Сердце человека // Wikipedia.ru: [Электронный ресурс]. – режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце\\_человека](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сердце_человека). - 18.02.2014.
4. Простейшие модели возбудимых сред // Mathematical Cell: [Электронный ресурс]. – режим доступа: [http://www.mathcell.ru/obzors/obzor\\_Elkin2](http://www.mathcell.ru/obzors/obzor_Elkin2). - 27.02.2014.