

В.В. Стучилин, В.А. Румянцева, Е.В. Епишина

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАТОЛОГИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Рассмотрены вопросы создания математической модели патологий сердечно-сосудистой системы для программного обеспечения мобильной медицинской индивидуальной электрофизиологической диагностики. Представлены примеры использования математической модели для изучения нормального синусового ритма сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: электрокардиограмма, ЭКГ, базовая модель, моделирование, экстрасистолия, нормальный синусовый ритм, патология сердечного ритма, математическая модель, электрофизиологическая диагностика.

Введение

Большинство клинических исследований сердечно-сосудистой системы основаны на анализе электрокардиограмм (ЭКГ) и изучении ряда других регистрируемых сигналов, иллюстрирующих биоэлектрическую активность сердца. К числу несомненных преимуществ такого подхода можно отнести относительную простоту, доступность, неинвазивность и их высокую информативность.

Моделирование электрокардиограмм является актуальной научной и практической задачей. Существует ряд разработок в этой области [1, 2, 3, 4].

Базовая модель ЭКГ

Выберем базовую модель, аналогичную [2]. Она формируется по эталону $z(t)$, который описывается суммой несимметричных гауссовых функций.

$$z(t) = \sum_{i \in \{P, Q, R, S, ST, T\}} A_i \cdot \exp \left[-\frac{(t - \mu_i)^2}{2 \cdot b_i^2} \right] \quad (1)$$

В нашем случае мы будем представлять R зубец в виде суммы двух

гауссовых функций, чтобы смоделировать процессы в правом и левом предсердии по отдельности. Несимметричность T зубца мы смоделируем также суммированием двух слагаемых (ST и T) суммы из формулы (1).

Модель нормального синусового ритма

Схема ЭКГ показана на рис. 1. На ней обозначены все зубцы сегменты и интервалы с указанием примерной их длительности для здорового человека [5].

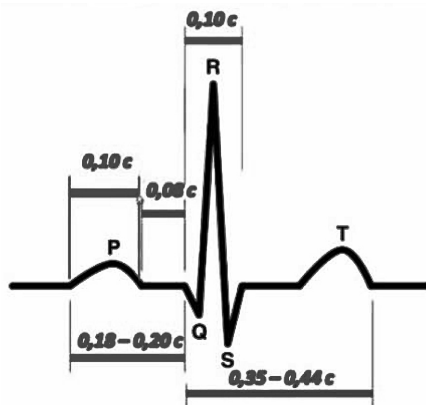


Рис. 1. Схема ЭКГ

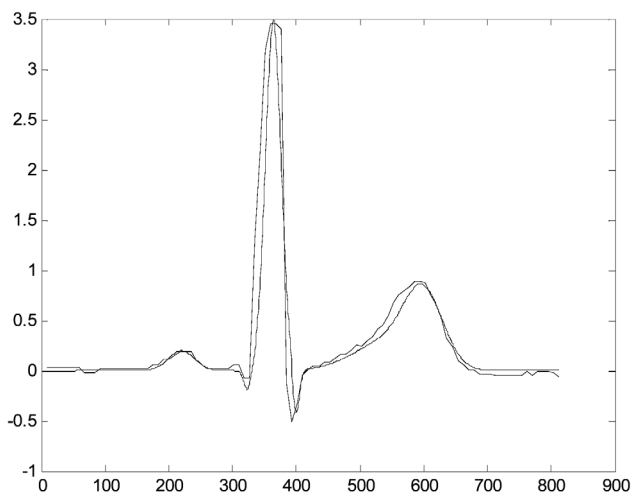


Рис. 2. Базовый цикл модели нормальной ЭКГ. Сравнение базового цикла модели с циклом записи № 16272

На основании интервалов, указанных на схеме (см. рис. 1), а также образцов реальных ЭКГ из базы данных [6, 7] определяются параметры для подстановки в формулу (1).

Графики базового цикла модели, совмещенные с примерами ЭКГ из базы данных MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database показаны на рис. 2.

При формировании базового цикла модели были использованы следующие относительные величины:

$$A_i = [0,030, 0,03, -0,050, 0,88, -0,12, 0,070, 0,18];$$

$$b_i = [0,040, 0,04, 0,010, 0,025, 0,01, 0,10, 0,06];$$

$$m_{ui} = [0,06, 0,07, 0,27, 0,35, 0,42, 0,700, 0,82];$$

A_i вычислена по отношению к расстоянию между RS зубцами, b_i и m_{ui} – по отношению к общей длительности возбуждения (в соответствии с рис. 2 равна 550 мс). К какому зубцу относится каждый параметр можно определить по схеме:

$$\text{Parameter}_i = [P1, P2, Q, R, S, T1, T2]$$

На рис. 3 показана теоретическая ЭКГ, рассчитанная по вышеприведенным формулам (рис. 3, б) в сравнении с записью № 16272 базы данных MIT-BIH Normal Sinus Rhythm Database (рис. 3, а). На этом и последующих рисунках по горизонтальной оси показано время в мсек, а по вертикальной напряжение в мВ.

а)



б)

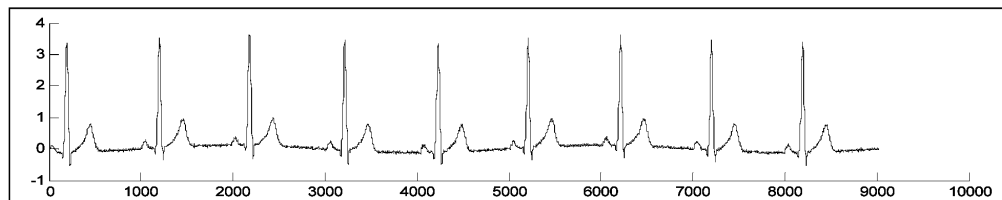


Рис. 3. Моделирование нормального синусового ритма: а) ЭКГ мужчины, 26 лет; б) модель ЭКГ

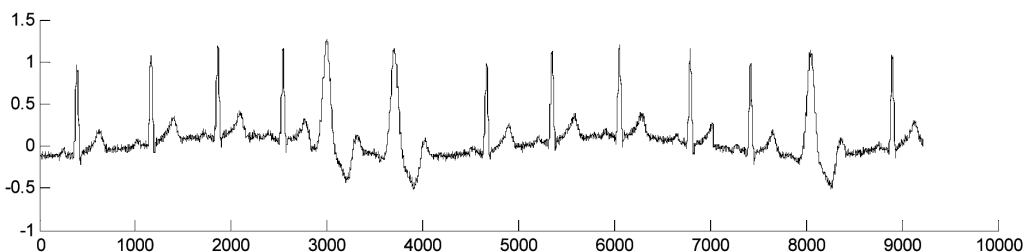


Рис. 4. Модель желудочковой экстрасистолии

В модели учитываются изменения длительности RR интервала. Они считаются нормально распределенными. Математическое ожидание их соответствует ЧСС = 60 1/мин (средний период $RR = 1000$ мс), СКО = 20 мс. Частота дискретизации 500 Гц. На моделируемый сигнал накладывается шум, распределенный по нормальному закону с параметрами ($\mu = 0$ мВ, $\sigma = 0,02$ мВ).

Кроме того, учитывается дрейф изолинии. Изолиния считается изменяющейся по синусоидальному закону с частотой 15 1/мин (частота дыхания) и амплитудой 0,12 мВ.

Моделирование ЭКГ с патологиями на примере желудочковой экстрасистолии

Явление экстрасистолии заключается в том, что возникает патологический очаг возбуждения, и он вызывает сердечное сокращение раньше, чем оно должно было бы быть сгенерировано в синоартериальном узле. Эти сокращения проходят среди обычных «правильных» сокращений.

При желудочковой экстрасистолии очаг возбуждения находится в желудочке, возбуждение проходит не по обычным путям. Поэтому QRS-комплекс

сильно изменен. Экстрасистолы могут возникать несколько раз подряд, могут возникать из разных очагов.

Пример ЭКГ, на основании которого были получены данные, взят из [5].

Модель экстрасистолического возбуждения определяется следующими параметрами с представлена на рис. 4:

$$A_i = [0,00, 0,00, -0,050, 0,88, -0,10, -0,18, 0,19];$$

$$b_i = [0,060, 0,06, 0,010, 0,08, 0,3, 0,10, 0,08];$$

$$m_{i1} = [0,12, 0,14, 0,27, 0,35, 0,50, 0,800, 0,95];$$

В модели было задано, что экстрасистолическое сокращение возникает с вероятностью 20%.

Заключение

В ходе проведенных исследований была разработана методика анализа и нормировки электрокардиограммы. Были разработаны модели ЭКГ нормальной сердечно сосудистой системы и различных патологий. Результаты работы планируется использовать при создании программного обеспечения для системы мобильной медицинской индивидуальной электрофизиологической диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Д.С., Спицын В.Г. Применение нейронной сети дискретного вейвлет-преобразования для анализа и класси-

фикации электрокардиограмм // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5.

2. Беклер Т.Ю. Моделирование искусственных электрокардиограмм нормальной и патологической формы // Кибернетика и вычислительная техника. – 2012. – Вып. 169.

3. Файнзилберг Л.С. Технология построения телемедицинской системы на основе генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы // Клиническая информатика и телемедицина. – 2012. – Т. 8. – Вып. 9. – С. 89–98.

4. McSharry, Clifford G, Tarasenko L, Smith L.A. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals // IEEE Transaction on Biomedical engineering. – 2003. – Vol. 50(3). – P. 289–294.

5. Щучко А., Щучко А. ЭКГ под силу каждому. <http://medfors.ru/videokurs-ekg> дата обращения (24.03.2015).

6. Archive of digital recordings of physiologic signals and related data. <http://www.beecardia.com/physiobank> дата обращения (27.02.2015).

7. Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Mark R.G., Mietus J.E., Moody G.B., Peng C-K., Stanley H.E. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13). **ТАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Стучилин Владимир Валерьевич – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: vladimir@stuchilin.com, НИТУ «МИСиС»,

Румянцева Валентина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: rumyanceva_v@mail.ru, НИТУ «МИСиС»,

Епишина Екатерина Викторовна – ведущий аналитик, ООО «Нордавинд-Дубна»,
e-mail: e.epishina@nordavind.ru.

UDC 002.6; 004.3; 022.9

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS OF PATHOLOGIES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM FOR SOFTWARE MOBILE MEDICAL INDIVIDUAL ELECTROPHYSIOLOGICAL DIAGNOSTICS

Stuchilin V.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: vladimir@stuchilin.com,
Rumyantseva V.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: rumyanceva_v@mail.ru,
Epishina E.V., Senior Analyst, e-mail: e.epishina@nordavind.ru,
LLC «Nordavind-Dubna», 141980, Dubna, Russia,
¹ National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

In the article the problem of cardiovascular system pathologies mathematical models creation is considered. The target is mobile medical individual electrophysiological diagnostics. Examples of the mathematical models usage for cardiovascular system studying of the normal sinus rhythm are presented

Key words: electrocardiogram, ECG, basic model, modeling, arrhythmia, normal sinus rhythm, pathology heart rhythm, a mathematical model of electrophysiological diagnostics.

REFERENCES

1. Grigor'ev D.S., Spitsyn V.G. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2012, vol. 321, no 5.
2. Bekler T.Yu. *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*. 2012, issue 169.
3. Fainzil'berg L.S. *Klinicheskaya informatika i teleditsina*. 2012, vol. 8, issue 9, pp. 89–98.
4. McSharry, Clifford G, Tarasenko L, Smith L.A. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals. *IEEE Transaction on Biomedical engineering*. 2003. Vol. 50(3). P. 289–294.
5. Shchuchko A., Shchuchko A. *EKG pod silu kazhdomu*, available at: <http://medfors.ru/videokurs-ekg> (accessed 24.03.2015).
6. Archive of digital recordings of physiologic signals and related data, available at: <http://www.beecardia.com/physiobank> (accessed 27.02.2015).
7. Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Mark R.G., Mietus J.E., Moody G.B., Peng C-K., Stanley H.E. *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals*. *Circulation* 101(23):e215-e220 [Circulation Electronic Pages; <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>]; 2000 (June 13).