

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

В.В. Данилов, Р.Г. Литвинов, О.М. Гергет
(г. Томск, Томский Политехнический Университет)
viacheslav.v.danilov@gmail.com, rarhimed@gmail.com, gerget@tpu.ru

AN ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELLING TECHNIQUES OF THE HEART ELECTRICAL ACTIVITY

V.V. Danilov, R.G. Litvinov, O.M. Gerget
(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)

Nowadays, due to the prevalence of cardiovascular diseases there is extremely high demand not only in the development of new means of treatment and diagnosis, but also in their wider implementation in practice. Improving the efficiency of non-invasive diagnostic techniques, in our opinion, is one of the key tasks, the solution of which will significantly help in the treatment of cardiovascular diseases. The achievements of modern science, in particular - biology, biophysics and cybernetics, provide great opportunities for solving this problem through the development of mathematical models of cardiac electrical activity. The purpose of this article is to review the heart electrophysiology and the main approaches to the modeling of cardiac electrical activity as well as specific models.

Keywords: action potential; electrical activity of the heart; cardiac electrophysiology models; Landau-Ginzburg model; Hodgkin-Huxley model; Luo-Rudy model;

Введение. Согласно исследованиям Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) на сегодняшний день сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти во всем мире. По оценкам, в 2012 году от ССЗ умерло 17,5 миллионов человек, что составило 31% всех случаев смерти в мире [1].

В связи с этим для своевременного и достоверного диагностирования требуется внедрение новых методов и технологий. Основной целью работы является вычислительное моделирование электрической активности сердца.

В данной статье рассмотрены основные понятия, специфика и подходы к моделированию электрической активности сердца [2, 3].

Результаты исследования. Приведем некоторые особенности объекта исследования. Во-первых, исследователь всегда обладает неполной и нечеткой информацией об объекте исследования. В связи с этим, для моделирования электрической активности сердца используются методы имитационного моделирования. Во-вторых, задача носит комплексный характер и может быть решена при коллаборации медиков, математиков, физиков, биофизиков и т.п.

Первое ключевое различие между концептуальными [4, 5] и детальными [6, 7] моделями состоит в целях, которые должны быть достигнуты благодаря им. В случае концептуальных моделей – это возможность моделирования сердечных заболеваний, имеющих комплексный характер, например, аритмий. При таком подходе главной задачей становится математическое описание процесса распространения электрического импульса в сердце при нормальных условиях и в случае отклонений (заболеваний). В случае же детальными моделей – это возможность учесть при моделировании не только поведение электрического импульса в сердце, но и его природу, т.е. причины, условия его порождающие. Иными словами, детальные модели затрагивают и клеточный (а в ряде моделей и внутриклеточный) уровень [8], что позволяет, например, глубже понимать объект исследования и разрабатывать более эффективные лекарственные препараты.

Второе различие – в методе разработки модели. В основе концептуальных моделей лежат уравнения, законы физики и теории колебаний, описывающие волновые процессы. То есть задача исследователя сводится к отысканию таких физических теорий, которые бы наиболее полно описывали общий характер поведения электрического импульса в сердце. При разработке детальных моделей ввиду того, что приходится учитывать клеточный уровень, необходимо изучать и применять не только теории, описывающие волновые процессы, но и клеточные (например, работу ионных каналов кардиомиоцитов), а это влечет за собой значительное усложнение модели.

Следовательно, в концептуальных моделях, как правило, не требуется больших вычислительных ресурсов. В случае же детальных моделей, когда модель включает в себя десятки уравнений различных типов, задача значительно усложняется, а требования к вычислительным ресурсам компьютера, на котором используется модель, резко возрастают и являются критическим фактором.

Еще одним важным различием между моделями является универсальность, которая обусловлена такими факторами, как доступность для понимания широким кругом лиц и возможность использования для целого ряда задач, а не только для одной, конкретной. В данном контексте более привлекательной выглядит концептуальная модель, в основе которой лежат универсальные физические уравнения, что делает ее весьма доступной для понимания: необходимо обладать базовыми знаниями в области биологии и физики (биофизики). Для разработки собственной детальной модели и улучшения понимания уже существующих, требуются как базовые знания физики и биологии, так и глубокие познания в области биофизики клетки, мембранных процессов и молекулярной биологии. Это делает такую модель менее универсальной и доступной для неспециалистов в данной области.

Выводы. В работе рассмотрены вопросы, связанные с моделированием электрической проводимости сердца. На сегодняшний день эта область исследований достаточно динамично развивается, а также является пионером, использующем метод системной биологии, при котором вычислительные и математические модели используются для наилучшего понимания сложных биологических проблем.

Существует достаточно большое количество моделей сердечных клеток, основанных на экспериментальных данных. Моделирование основывается на построении дифференциальных уравнений с разным количеством переменных: от 2-х (концептуальные модели) и свыше 60 (детальные модели). Изучив и сравнив между собой разные типы моделей, мы можем сделать вывод, что выбор той или иной модели (типа модели), определенно, связан с конкретной целью исследования и имеющимися вычислительными ресурсами. Кроме того, большей эффективности модели можно достичь путем использования как сильных сторон концептуальных моделей, например, простоту моделирования, так и сильных сторон детальных, в частности, точность [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Cardiovascular diseases (CVDs). Fact sheet N°317. World Health Organization. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/>
2. Schmidt R. F., Lang F., Thews G. *Physiologie des Menschen* (29th ed.). – Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2005.
3. Anderson R.H., Yen Ho S., Becker A.E. (Андерсен Р.Х., Йен Хо С., Бекер А.И.) *Анатомия и гистология проводящей системы*// В кн.: *Аритмии сердца* (под ред. В. Дж. Мандела).- М., Медицина, 1996. – Т. 1. – С. 40-106.
4. FitzHugh R. *Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane* // *Biophysical J.* – 1961. – Т. 1. – № 6. – С. 445–466.
5. Ginzburg V.L., Landau L.D. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* – Oxford: Pergamon Press. – 1965. – С. 546.

6. Hodgkin A.L., Huxley A.F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve // *J. Physiol.* – 1952. – Т. 4. – С. 500-544.
7. Luo C.H., Rudy Y., A model of the ventricular cardiac action potential, depolarization, repolarization and their interaction // *Circ. Res.* – 1991. – Т. 68. – С. 1501.
8. Fenton F. H., Cherry E. M. Models of cardiac cell // *Scholarpedia.* – 2008. – № 3.
9. Павлов Е.А., Осипов Г.В. Моделирование сердечной активности на основе отображений // *Известия вузов «ПНД».* – 2011. – Т. 19. – № 3. – С. 104-115.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИССЛЕДОВАНИЙ СВЯЗАННОГО СО ЗДОРОВЬЕМ КАЧЕСТВА ЖИЗНИ ПАЦИЕНТОВ С ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ

М.П. Дьякович^{1,2}, И.А. Финогенко³, А.А. Блохин⁴

*(Иркутский научный центр СО РАН, 1 - Ангарский государственный технический университет, 2 - Ангарск, Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, 3-Иркутск, Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 4-Иркутск, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН)
e-mail: fin@icc.ru, eco@angtu.ru, senyadiamond@yandex.ru*

INFORMATION SUPPORT OF HEALTH-RELATED QUALITY OF LIFE OF PATIENTS WITH OCCUPATIONAL DISEASES

I. Finogenko, M. Diakovich, A. Blokhin

(Irkutsk scientific center, Angarsk, East-Siberian Institute of Medical and Environmental Research, Angarsk State Technical University; Irkutsk, Matrosov Institute of System Dynamics and Control Theory, Melentiev Energe Systems Institute)

Abstract. The report deals with information support of research of health relative quality of life (HRQoL) of patients with occupational diseases. The authors have developed an automated system, which facilitate to collect and process data in multicenter trials. The automated system has used to assess HRQoL of patients with occupational diseases taking into account socio-economic characteristics of the regions of their residence at some point of time or in dynamics of development of chronic diseases research. Automated use of the method of the analysis hierarchy in the system analysis of HRQoL of patients with occupational diseases - an extremely complex object with lots of multidimensional, heterogeneous relationships, allows us to estimate the degree of influence of individual components of the object as a whole.

Key words: health-related quality of life, patients with occupational diseases, method of the analysis hierarchy, information support, automated system

ВВЕДЕНИЕ. В настоящее время из более широкой общей концепции качества жизни населения как критерия эффективности функционирования отдельных подсистем общества выделены аспекты, непосредственно связанные с состоянием здоровья человека и системой здравоохранения. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рассматривает качество жизни как индивидуальную оценку человеком своего положения в жизни общества в контексте культуры этого общества с учетом планов, возможностей, стандартов, интересов. Не смотря на то, что концепция исследования СЗКЖ в медицине, предложенная Минздравом РФ (2001), объявлена приоритетной, в России она применяется недостаточно широко, хотя знания о СЗКЖ существенным образом дополняет традиционную методологию обследо-