



А.В. Кузьмин

## КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СЕРДЦА

(ФГБОУ ВПО Пензенский государственный университет)

Человеческое сердце представляет собой сложный объект, рассмотрением которого занимаются с различных сторон занимаются различные науки. И даже один и тот же аспект работы сердца может рассматриваться различными науками:

- механический аспект работы сердца изучается механикой (или вернее биомеханикой), медициной и физиологией;
- сокращения сердца могут рассматриваться как механический, электрический или химический процесс;
- строение сердца как сложного геометрического объекта изучается анатомией, геометрическим моделированием;
- работа сердца управляется сложным образом, и сама система его управления изучается физиологией, медициной, теорией управления.

Попытки построить модели сердца, а, вернее, модели отдельных подсистем или аспектов сердечной активности предпринимаются достаточно давно. И все они преследуются различные цели. Если анатомический атлас или наглядный макет должны дать изучающему понятие о его геометрических характеристиках, взаимном расположении анатомических частей в процессе базового изучения анатомии человека, то, например, модель электрической активности сердца (ECGSim [1]) знакомит его с особенностями распределения электрических потенциалов по поверхности сердца во время кардиоцикла.

Изучение электрических явлений, происходящих в сердце, обладает особой практической значимостью на протяжении последней сотни лет, начиная с изобретения электрокардиографии, так как на сегодняшний день это наиболее распространенный и доступный способ диагностики сердца, применяемый повсеместно во всем мире. В связи с этим важным становится установление закономерностей и системных взаимосвязей, отражающих влияние различных факторов на регистрируемый электрокардиосигнал (ЭКС). Ведь перед врачами стоит задача определить как работает сердце и какие там происходят (или даже могут произойти в ближайшее время) патологические изменения, имея в качестве исходной информации только ЭКС. Для решений такой задачи необходимо изучить электрофизиологию сердца, ее связь с сократительной активностью и биомеханическими параметрами [2], выделять признаки различных отклонений и, наконец, иметь клинический опыт.

Автором предлагается объединить существующие знания и математические модели в единую комплексную модель, объединяющую в единое целое геометрические параметры сердца, его электрическую, сократительную и насосную активность, а также различные контуры управления сердцем. При этом выходными данными такого моделирования



являются сгенерированные ЭКС в соответствии с принятой международной системой отведений ЭКГ-12 (т.е. сигналы, полученные путем решения прямой задачи электрокардиографии с учетом всех моделируемых параметров)

Основой для построения такой комплексной модели является тесная взаимосвязь и взаимозависимость различных подсистем, которая, при этом, не учитывается, если моделировать, даже корректно с точки зрения математики, отдельно взятую подсистему. Так, например, существующие модели электрической активности рассматривают сердце в качестве электрического генератора, при этом геометрическая форма сердца в таких моделях большого значения не имеет, и часто такой генератор может быть точечным или иметь форму шара [3, 4], в то время как весь миокард является электрически активным, причем регистрируются ЭКС не напрямую на сердце а через неоднородную структуру человеческого тела, что также вносит определенные искажения [5]. Казалось бы, решением проблемы может быть использование поверхностной полигональной модели сердца (как в ECGSim), однако в этом случае учитывается только электрическая активность поверхности сердца, а для адекватного моделирования электрической активности по всей толщине миокарда требуется объемная модель (например, воксельная) [6]. Но и в этом случае результаты будут спорными, так как используемые модели статические, а в процессе сокращения геометрические параметры модели изменяются, соответственно, изменяются важные для моделирования электрической активности параметры [7]. Кроме того, важнейшим аспектом работы сердца, определяющим его физиологическую функцию по перекачиванию крови, является насосная активность. С точки зрения гемодинамики данная функция оценивается параметрами систолического и диастолического объемов желудочков. Разность этих объемов определяет объем перекачанной крови за одно сокращение. При этом надо понимать, что сокращение – это тоже электрический процесс, определяющий электрическую активность сердца. Физические параметры тканей миокарда и крови, такие как вязкость, определяют механические напряжения, возникающие в стенках и клапанах сердца во время сокращений. Наконец частота сокращений определяется импульсами и может регулироваться в зависимости от внешних и внутренних факторов, т.е. налицо многоконтурное управление. На данном примере можно проследить важность комплексного моделирования сердечной активности и недостаточность моделирования его отдельных подсистем и функций. При этом важно понимать, что сложность созданной модели не должна быть запредельной, а сама модель не должна включать излишние аспекты, чтобы не стать трудной для понимания, интерпретации, настройки и самого процесса моделирования. Таким образом, предлагается на данном этапе ограничить комплексную модель включением в нее вышеперечисленных подсистем. Такой набор подсистем и функций позволит достаточно полно представить взаимосвязь различных параметров, а также их прямое и опосредованное влияние на результирующий ЭКС.

Предлагаемая комплексная модель позволяет:



- изучать влияние индивидуальных параметров на результирующие ЭКС;
- проводить вычислительные эксперименты, моделируя различные поражения, патологии, а также различные режимы работы сердца;
- получать новые знания о системных взаимосвязях различных параметров и подсистем сердца, не ограничиваясь каким-то одним аспектом сердечной активности.
- имитировать работу сердца в различных медицинских приложениях, например, учебных системах [8] и хирургических тренажерах [9].
- строить на ее основе неинвазивное скрининговое и мониторинговое оборудование нового поколения.

Естественно, такая модель может приносить пользу только в случае точной настройки всех параметров и согласования работы различных подсистем. Это достигается использованием математически корректных постановок задач моделирования и методов решения, а также значительным количеством разнообразного фактографического медицинского материала, который позволяет оптимизировать параметры различных подсистем, а также проверить адекватность построенной модели.

### Литература

1. ECGSim Introduction. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ecgsim.org/introduction.php/>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. англ.
2. Волобуев А.Н. Курс медицинской и биологической физики: Для студентов, аспирантов и врачей. - М., 2002. - 432 с.
3. Титомир Л.И., Кнеппо П. Математическое моделирование биоэлектрического генератора сердца. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 448 с.
4. Баум, О.В. Моделирование электрической активности сердца. – Биофизика сложных систем и радиационных нарушений (под ред. Г.М. Франка), М.: Наука 1977, 119-129
5. Крамм М.Н., Стрелков Н. О., Сушок М. В. Погрешности реконструкции параметров токового диполя сердца для неоднородной модели торса человека в виде кругового цилиндра. // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – № 12. – [Электронный ресурс]. – URL <http://jre.cplire.ru/mac/dec12/13/text.html>
6. Кузьмин, А. В. Представление и визуализация объемных объектов / А.В. Кузьмин, О.Н. Бодин // Полет. – 2008. - № 3. - С. 49-55
7. Митрохина, Н.Ю. Анализ электрической активности сердца с использованием геометрических параметров / Н.Ю. Митрохина, А.В. Кузьмин, Е.В. Петрунина // Медицинская техника. - 2013. – № 6. – С. 38–41.
8. Кузьмин, А. В. Разработка визуальной модели сердца для обучения студентов-медиков / А.В. Кузьмин, О.Н. Бодин, А.Н. Митрошин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2007. – № 2. – С. 3–10.



9. Колсанов, А.В. Комплекс «Виртуальный хирург» для симуляционного обучения хирургии / А.В. Колсанов, А.В. Иващенко, А.В. Кузьмин, А.С. Черепанов // Медицинская техника. - 2013. – № 6. – С. 7–10.

Р.А. Парингер, А.В. Куприянов

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЕНДРИТНЫХ КРИСТАЛЛОГРАММ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет))

Анализ изображений медицинских кристаллограмм – это важная часть медицинской диагностики. Медицинские кристаллограммы – это структуры, образованные при кристаллизации солей вследствие высушивания биологической жидкости (слеза, кровь, слюна и т.д.). Автоматизация обработки изображений кристаллограмм позволит повысить качество диагностики и сократит затраты времени на её проведение. Использование разной аппаратуры и техник получения изображений кристаллограмм приводит к тому, что изображения кристаллограмм могут существенно различаться по масштабу. Так при расчёте признаков для одной и той же кристаллограммы, снятой при различных разрешениях результаты диагностики могут оказаться различными. Поэтому, чтобы повысить общее качество диагностики предлагается сначала оценить масштаб съёмки изображения кристаллограммы. В рамках данной работы было проведено исследование качества классификации изображений дендритных кристаллограмм по масштабу. В работе используются алгоритмы расчёта геометрических признаков и факторов форм пространственного спектра. Алгоритм дискриминантного анализа использовался для определения признаков, эффективных при классификации изображений кристаллограмм по масштабу и для формирования более эффективных признаков.

**Геометрические признаки.** Модель дендрита представлена на рисунке 1.  $A, B, C, D$  – «вершины» дендритных отростков,  $E, F, G$  – «корни» дендритных отростков,  $EF, FG$  – расстояния между отростками,  $AE, BE, CF, DG$  – отростки дендритов.

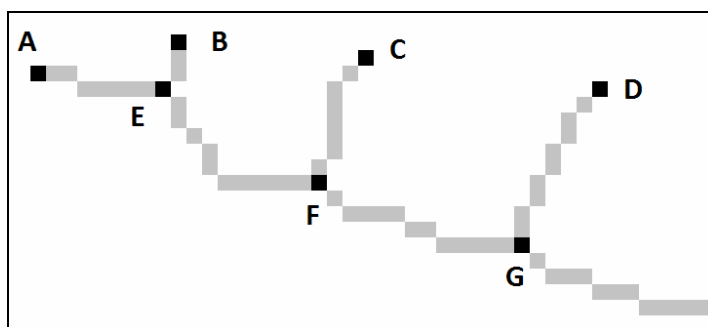


Рис. 1. Модель дендрита