

Федеральное агентство научных организаций  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт иммунологии и физиологии  
Уральского отделения Российской академии наук  
ФГБУН ИИФ УрО РАН

УТВЕРЖДАЮ

Директор, академик



В.А. Черешнев

«25» сентября 2015

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Математические модели электро-механического  
сопряжения в мышцах»

**Направление подготовки: 30.06.01 Фундаментальная медицина**

**Направленность (профиль подготовки): биофизика**

**Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь**

**Форма обучения: очная**

Екатеринбург – 2015

## 1. Цели и задачи дисциплины

**Цель дисциплины:** знакомство с физиологическими и биофизическими основами молекулярно-клеточных процессов, лежащих в основе электрических и механических явлений в мышечных клетках (миоцитах), и различными способами их формализации в рамках математических моделей.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение основных подходов к моделированию электромеханического сопряжения в клетках разных типов мышц;
- знакомство с широко используемыми моделями электро-механического сопряжения на различных уровнях организации биологического объекта – от молекулярного до тканевого;

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП аспирантуры

Дисциплина «Математические модели электро-механического сопряжения в мышцах» относится к специальным дисциплинам отрасли науки и научной специальности, включенной в обязательные дисциплины образовательной составляющей ОПОП по специальности 03.01.02 – «Биофизика».

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** основной круг задач, встречающихся в области биофизики

**Уметь:** определять перспективные направления научных исследований в области биофизики, состав исследовательских работ, определяющие их факторы; разрабатывать научно-методологический аппарат и программу научного исследования; отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; работать с источниками патентной информации; использовать указатели Международной патентной классификации для определения индекса рубрики; проводить информационно-патентный поиск; осуществлять библиографические процессы поиска; формулировать научные гипотезы, актуальность и научную новизну планируемого исследования

**Владеть:** навыками составления плана научного исследования; навыками информационного поиска; навыками написания аннотации научного исследования

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 ак. часов. Время проведения 1,2 семестры

Таблица 1

Структура дисциплины, виды и объем учебной работы

№ п/п	Разделы дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Коды компетенций	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Л	ЛР	ПЗ (С)	СР		
1	Основные подходы и методы моделирования электро-механического сопряжения в мышцах	1	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	КЛ, УО
2	Прямые и обратные связи между электрической и механической функциями сердечной мышцы	1	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	КЛ, УО
3	Биомембраны: строение, функция.	1	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
4	Мембранный потенциал	1	2			4	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
5	Возбудимость мышечных клеток.	1	2			4	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
6	Моделирование электрической активности мышечных клеток.	2	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
7	Модели возбудимых сред.	2	2			4	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1,	Д, УО

							ПК-2, ПК-3, ПК-4	
8	Моделирование мышечного сокращения.	2	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
9	Моделирование электро-механического сопряжения в сердце	2	2			6	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
10	Модели миокарда тканевого и органного уровня	2	2			4	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4	Д, УО
	итого		20			52		

ПРИМЕЧАНИЕ: КР- контрольная работа, Л – лекции, ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы; СР – самостоятельная работа аспиранта.

## 5. Содержание разделов дисциплины

Таблица 2

### Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела	Содержание раздела
1	Основные подходы и методы моделирования электро-механического сопряжения в мышцах	Изучение основных подходов и методов моделирования электро-механического сопряжения (ЭМС) в клетках скелетных и сердечных мышц и в гладких мышцах. Общие принципы и особенности.
2	Прямые и обратные связи между электрической и механической функциями сердечной мышцы	Изучение особенностей прямых и обратных связей между электрической и механической функциями сердечной мышцы на разных уровнях ее организации (от кардиомиоцита до целого сердца). Актуальные проблемы кардиофизиологии, для решения которых необходимо математическое моделирование этих связей.
3	Биомембраны: строение функция.	Виды транспорта. Пассивный транспорт (диффузия). Уравнение диффузии. Закон Фика. Реакционно-диффузионное уравнение. Активный транспорт – клеточные насосы.
4	Мембранный потенциал.	Мембранный потенциал. Уравнение Нернста для равновесного потенциала. Уравнение Голдмана-Ходжкина-Каца. Понятие проницаемости и проводимости мембраны.
5	Возбудимость мышечных клеток.	Ионный транспорт через каналы. Основные свойства ионных каналов. Уравнение Нернста-Планка для

		электродиффузии. Физические принципы работы канала и модели каналов. Мембранный потенциал покоя. Уравнения для равновесного мембранного потенциала. Связь между ионными токами и мембранным потенциалом. Нервный импульс. Описание ионных токов в классической модели Ходжкина—Хаксли. Качественный анализ модели Ходжкина—Хаксли. Её характеристика и значение для электрофизиологии клетки.
6	Моделирование электрической активности мышечных клеток.	Модели электрической активности кардиомиоцитов разных видов животных, включая человека
7	Модели возбудимых сред.	Моделирование реакции Белоусова-Жаботинского, Модель "брюсселятор" с диффузией и др.
8	Моделирование мышечного сокращения.	Молекулярно-клеточные основы сокращения мышц. Связь сила-скорость мышцы: модель Хилла. Решение модели Хилла для изометрического тетануса. Решение модели Хилла для отпускания мышцы с постоянной скоростью. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Уравнение для доли прикрепленных поперечных мостиков. Стационарный случай. Кусочное решение модели. Зависимость «сила-скорость» в модели мышечного сокращения Хаксли. Новые модели мышечного сокращения.
9	Моделирование электро-механического сопряжения в сердце.	Моделирование сердечной мышцы как пример моделирования сложной биологической системы. Екатеринбург-Оксфорд» модель электрических и механических явлений в кардиомиоците.
10	Модели миокарда тканевого и органного уровня	Ионные модели электрофизиологического и механического поведения кардиомиоцитов. Одномерные и двумерные модели различной степени детализации процессов. Трехмерные модели: особенности подходов к моделированию ЭМС.

## 6. Перечень лекций, семинарских, практических занятий, лабораторных и самостоятельных работ

Таблица 3

### Перечень занятий и формы контроля

№ п/п	Наименование раздела	Вид занятия	Тема занятия (самостоятельной работы)	Форма текущего и промежуточного контроля
1	Основные подходы и методы моделирования электро-механического сопряжения в мышцах	Л	Общие принципы и особенности моделирования ЭМС в мышцах	КЛ, УО
2	Прямые и обратные связи между	Л	Изучение особенностей прямых и обратных связей между	КЛ, УО

	электрической и механической функциями сердечной мышцы		электрической и механической функциями сердечной мышцы на разных уровнях ее организации	
3	Биомембраны: строение, функция.	СР	Строение и функции биомембран. Пассивная и активная диффузия.	Д, УО
4	Мембранный потенциал.	СР	Мембранный потенциал.	Д, УО
5	Возбудимость мышечных клеток.	СР	Ионный транспорт. Модель Ходжкина-Хаксли	Д, УО
6	Моделирование электрической активности мышечных клеток.	СР	Электрофизиологические модели кардиомиоцитов Д,	Д, УО
7	Модели возбудимых сред.	СР	Модели возбудимых сред.	Д, УО
8	Моделирование мышечного сокращения.	СР	Молекулярно-клеточные основы сокращения мышц. Модели Хилла и Хаксли.	Д, УО
9	Моделирование электро-механического сопряжения в сердце.	СР	Модель ЭМС в кардиомиоцитах. Модель «Екатеринбург-Оксфорд»	Д, УО
10	Модели миокарда тканевого и органного уровня	СР	ЭМС в моделях тканевого и органного уровня	Д, УО
Итоговый контроль				зачет

ПРИМЕЧАНИЕ: Виды занятий: Л – лекции, С – семинары, П – практические занятия, ЛЗ - лабораторные занятия, СР – самостоятельная работа.

Формы текущего контроля: УО - устный опрос (собеседование), Р - реферат, П - проект, Д - доклад, КЛ - конспект лекции, ГД - групповая дискуссия, ОСР – оценка сопоставимости результатов, РИ – результат исследования (контроль качества и статистическая обработка) и др.

## 7. Информационные ресурсы

Таблица 4

Карта обеспечения учебно-методической литературой

№ п/п	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
<b>Основная литература</b>		
1	О.Э. Соловьева, В.С. Мархасин, Л.Б. Кацнельсон, Т.Б. Сульман, А.Д. Васильева, А.Г. Курсанов. Математическое моделирование живых систем: [учеб. пособие]; под общ. ред. О. Э. Соловьевой ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский Федеральный Университет. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2013. — 328 с.	1

2	Динамические модели процессов в клетках и субклеточных наноструктурах: монография/ под общ. ред. Г. Ю. Ризниченко, А. Б. Рубина. -М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2010.-447 с.. (ЦНБ)	1
3	Мюррей Дж. Математическая биология. -М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". -2009. -Т. 1 : Введение. - 2009.-774 с.. (ЦНБ)	1
4	Мюррей Дж. Математическая биология. -М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". -2009. -Т. 2 : Пространственные модели и их приложения в биомедицине. -2011.-1078 с. (ЦНБ)	1
5	Проблемы регуляции в биологических системах. Биофизические аспекты / под ред. А. Б. Рубина. -М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2007.-477 с. (ЦНБ)	1
6	Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическим моделям в биологии : курс лекций. -М.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2011.-558 с(ЦНБ)	1
7	Ризниченко Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии. -М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003.-184 с. (ЦНБ)	1
8	Романовский Ю. М. Математическое моделирование в биофизике. Введение в теоретическую биофизику. -М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004.-471 с. (ЦНБ)	1
9	Физиология человека: в 3-х томах /Под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. - М.: Мир. -2004. (ЦНБ)	1
<b>Дополнительная литература</b>		
1	Physiology of the Heart. 5th edition, edited by Arnold M. Katz, Lippincott Williams & Wilkins. 2011, 576 p	1
2	Братусь А. С. Динамические системы и модели биологии : монография. -М.: Физматлит, 2010.-400 с (ЦНБ)	1
3	Живодеров А.А. Физическое и математическое моделирование - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007.-41 с. (ЦНБ)	1
4	Математическое моделирование: Проблемы и результаты/ отв. ред. О. М. Белоцерковский, отв. ред. В. А. Гушин. - М.: Наука, 2003.-480 с. (ЦНБ)	1

**Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Таблица 5

## Перечень печатных, технических и электронных средств обучения

№ п/п	Наименование	Вид	Форма доступа
1	Мультимедийные презентации лекций, семинаров	электронный	Лаборатория математической физиологии, online-доступ
2	Web-ресурсы: Научная электронная библиотека eLibrary ( <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> ) Ресурс научных статей Pubmed ( <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov">http://www.ncbi.nlm.nih.gov</a> )	электронный	online-доступ
3	Web-репозиторий математических моделей CellML ( <a href="http://models.cellml.org/cellml">http://models.cellml.org/cellml</a> )	электронный	online-доступ

## 8. Материально-техническое обеспечение

Таблица 6

## Обеспеченность помещениями для аудиторных занятий и мультимедийного оборудования

№ п/п	Наименование дисциплины	Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий и пр. с перечнем основного оборудования	Форма владения, пользования (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)
1	Математические модели электро-механического сопряжения в мышцах	ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН Актальный зал (к. 115), Мультимедийное оборудование (проектор, компьютер)	Собственность ИИФ
		ФГБУН Институт иммунологии и физиологии УрО РАН Лаборатория математической физиологии (к. 330, 341), (Персональные компьютеры)	аренда помещения у ИХТТ, компьютеры – собственность ИИФ

Таблица 7

## Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№ п/п	Наименование раздела	Содержание самостоятельной работы	Учебно-методическое обеспечение
1	Основные подходы и методы	Анализ реферативных	Учебно-методическая литература,

	моделирования электро-механического сопряжения в мышцах	журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>2</b>	Прямые и обратные связи между электрической и механической функциями сердечной мышцы	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>3</b>	Биомембраны: строение, функция.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>4</b>	Мембранный потенциал.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>5</b>	Возбудимость мышечных клеток.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>6</b>	Моделирование электрической активности мышечных клеток.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>7</b>	Модели возбудимых сред.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>8</b>	Моделирование мышечного сокращения.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>9</b>	Моделирование электро-механического сопряжения в сердце.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам
<b>10</b>	Модели миокарда тканевого и органного уровня	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины.	Учебно-методическая литература, онлайн-доступ к электронным ресурсам

## 9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные средства:

- для текущего контроля – Вопросы по разделам и темам. Критерии оценки.

- для промежуточной аттестации – Вопросы по разделам и темам.  
Критерии оценки.

По итогам обучения проводится зачет

Таблица 8

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения образовательной программы

№ п/п	Наименование раздела	Оценочные средства	Компетенции
	Основные подходы и методы моделирования электро-механического сопряжения в мышцах	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Прямые и обратные связи между электрической и механической функциями сердечной мышцы	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Биомембраны: строение функция.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Мембранный потенциал.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Возбудимость мышечных клеток.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Моделирование электрической активности мышечных клеток.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Модели возбудимых сред.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Моделирование мышечного сокращения.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Моделирование электро-механического сопряжения в сердце.	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
	Модели миокарда	Вопросы для подготовки	УК-1, УК-2, УК-3,

	тканевого и органного уровня		ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
--	---------------------------------	--	---------------------------------------------------

### Примерные вопросы:

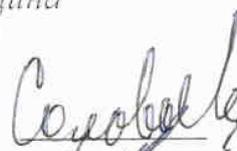
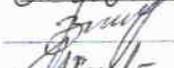
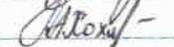
1. Транспорт веществ через клеточные мембраны. Уравнение диффузии. Реакционно-диффузионное уравнение.
2. Уравнения для равновесного мембранного потенциала. Электродиффузия. Вывод уравнения Нернста из уравнения Нернста-Планка.
3. Связь между ионными токами и мембранным потенциалом.
4. Описание ионных токов в модели Ходжкина—Хаксли.
5. Качественный анализ модели Ходжкина—Хаксли.
6. Связь сила-скорость мышцы: модель Хилла.
7. Решение модели Хилла для изометрического тетануса.
8. Решение модели Хилла для отпускания мышцы с постоянной скоростью
9. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Уравнение для доли прикрепленных поперечных мостиков.
10. Мостиковая модель мышечного сокращения Хаксли. Стационарный случай. Кусочное решение модели.
11. Зависимость «сила-скорость» в модели мышечного сокращения Хаксли.
12. Описание распространения электрической волны в одномерной возбудимой ткани с помощью кабельного уравнения.

*Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 30.06.01 Фундаментальная медицина*

*Автор, д.ф.-м.н., доцент*

*Автор, к.ф.-м.н.*

*Автор, к.ф.-м.н.*

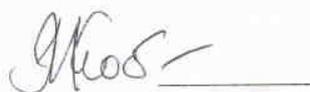
  
О.Э. Соловьева  
  
Н.А. Викулова  
  
А.Д. Хохлова

*Программа заслушана и утверждена на заседании Ученого совета ИИФ УрО РАН «25» сентября 2015 г., протокол № 7*

*Ученый секретарь Ученого совета*

*ИИФ УрО РАН*

*К.ф.-м.н.*

  
Р.М. Кобелева