

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Института Аспирантуры и Докторантуры ННГУ
Исследовательской школы «Нейробиотехнологии»

Рабочая программа дисциплины

Математические модели нейрон-глиальных систем

Направление подготовки
по специальности 03.01.02 «Биофизика» и 01.04.03 «Радиофизика»

Нижний Новгород
2012 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины:

- 1) овладение аспирантами современными подходами к моделированию процессов генерации и распространения сигналов в нейрональных и глиальных системах мозга;
- 2) формирование у аспирантов теоретических представлений о возможностях математического моделирования и построения математических моделей по экспериментальным данным;
- 3) изучение эффектов нелинейной динамики в математических моделях нейрон-глиальных систем

Задачи дисциплины:

- 1) дать представление о методологиях построения математических моделей нейронов, глиальных клеток и нейрон-глиальных сетей;
- 2) дать представление об интерпретациях модельных эффектов в рамках биофизических механизмов генерации сигналов;
- 3) изучить основные нелинейные эффекты генерации сигналов в моделях;
- 4) познакомить аспирантов с основным математическим аппаратом исследования моделей, методами редуцирования исходных моделей к упрощенным.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина относится к *группе дисциплин по выбору* образовательной компоненты ООП ППО (в соответствии с Федеральными государственными требованиями (ФГТ)).

Для изучения курса аспирантам необходимо овладеть знаниями по общей физике, математике, молекулярной биологии, общей биофизике, теории колебаний и волн, теории дифференциальных уравнений.

Желательно, чтобы аспирант, приступая к изучению данного курса, мог продемонстрировать следующие общие компетенции магистра биологии или специалиста-биолога или биофизика:

ОК-1 «способен к творчеству и системному мышлению»;

ОК-3 «способен к адаптации и повышению своего научного и культурного уровня»;

ОК-6 «способен самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности»;

ПК-1 «понимает современные проблемы биофизики и использует фундаментальные представления в сфере профессиональной деятельности для постановки и решения новых задач»;

ПК-2 «знает и использует основные теории, концепции и принципы в избранной области деятельности, способен к системному мышлению»;

ПК-6 «творчески применяет современные компьютерные технологии при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче биологической информации»;

ПК-9 «профессионально оформляет, представляет и докладывает результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам»;

ПК-10 «глубоко понимает и творчески использует в научной и производственно-технологической деятельности знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин программы»;

ПК-13 «самостоятельно использует современные компьютерные технологии для решения научно-исследовательских и производственно-технологических задач профессиональной деятельности».

Программа дисциплины необходима аспирантам для различных сфер деятельности, связанных с исследовательской и научной работой.

3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- основные модели генерации электрической и химической активности в клетках мозга;
- основные методы и подходы использования модельных систем для описания сигналов в нейрон-глиальных системах мозга.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, что составляет 108 учебных часа, в том числе самостоятельная работа в объеме 48 часов.

4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Лаб/сем.	Прак.	КСР.		
1	Математические модели нейрон-глиальных систем	108	40	20	20			68	Зачет

Практических занятий не предусмотрено.

4.2 Содержание дисциплины

4.2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел Дисциплины	Виды учебной работы (в часах)				Самостоят. Работа
		Лек.	Лаб./ сем.	Пр.	КСР	
1.	Введение. Обзор математических моделей нейрон-глиальных сетей. Концепции построения математических моделей.	4	2	-	-	10
2.	Генерация биопотенциалов в нейронах, модельное описание.	6	2	-	-	10
3.	Нелинейные эффекты мембранной возбудимости	2	4	-	-	12
4.	Отклик возбудимых систем на внешний информационный сигнал, интегративные и резонансные эффекты	4	4	-	-	12
5.	Модели химической возбудимости в астроцитах	2	4	-	-	12
6.	Основные сигнальные эффекты нейрон-глиального взаимодействия	2	2	-	-	12

4.2.2 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий (лекции, семинары и т.д.)
1.	Введение. Обзор математических моделей нейрон-глиальных сетей. Концепции построения математических моделей.	Подходы к моделированию функциональной активности мозга. Модели клеток и клеточных взаимодействий. Классификация моделей на принципиальные и биолого-правдоподобные. Построение моделей для описания конкретных феноменов, конкретных типов клеток и конкретных сетевых архитектур. Как	Лекции, лабораторный практикум

		нужно исследовать модели. Типы моделей по динамическим свойствам. Основные понятия теории динамических систем: фазовое пространство, аттракторы, устойчивость, грубость	
2.	Генерация биопотенциалов в нейронах, модельное описание.	Эксперимент с фиксацией потенциала мембраны гигантского аксона кальмара. Распределение и транспорт основных ионов через клеточную мембрану. Токи ионных каналов. Воротные переменные. Потенциал действия. Динамические свойства модели Ходжкина-Хаксли. Характеристики потенциала действия. Отклик модели на стимулирующий ток.	Лекции, семинары
3.	Нелинейные эффекты моделей мембранной возбудимости	Классификация возбудимости по Ходжкину-Хаксли. Модели с пороговым множеством и пороговым многообразием. Анализ устойчивости стационарных состояний Бифуркационный анализ. Возбудимый и осцилляторный режимы, бистабильность.	Лекции, семинары
4.	Отклик возбудимых систем на внешний информационный сигнал, интегративные и резонансные эффекты	Интегрирование входных воздействий на примере простейшей пороговой системы. Резонансные свойства нейронных систем. Переустановка фазы колебаний в модели ФитцХью-Нагумо с подпороговыми колебаниями. Модель нейронов нижний олив. Получение и анализ импульсных откликов с заданным числом импульсов. Импульсные M-> N преобразования. Отклик на гиперполяризующий	Лекции, семинары

		(тормозный) сигнал. Простейшие модели однаправленной синаптической связи	
5.	Модели химической возбудимости в астроцитах	Кинетика биофизических преобразований по деЯнгу и Кайзеру. Получение уравнений. Переход к двух и трехкомпонентной моделям (Ли-Ринцель, Уллах, Корнел-Белл). Основные динамические режимы редуцированных моделей. Разбиение фазовой плоскости на траектории. Бифуркационный анализ.	Лекции, семинары
6.	Основные сигнальные эффекты нейрон- глиального взаимодействия	Включение астроцита в модель синаптической связи – тройственный синапс. Генерация кальциевых импульсов в астроцитах за счет повышения концентрации нейропередатчика (глутамата) во внеклеточном пространстве. Модель воздействия нейрона на астроцит. Модуляция возбудимости мембраны нейрона и эффективности синаптической передачи при активации астроцитов.	Лекции, семинары

4.2.3. Лабораторный практикум

Не предусмотрено

5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины образовательный процесс включает теоретическую и практическую подготовку аспирантов.

Проведение лекций направлено на теоретическую подготовку аспирантов и базируется на использовании иллюстративного материала в форме слайдов, и анимационных фильмов.

Семинарские занятия связаны с выработкой профессиональной адаптации и опыта профессиональной деятельности с формированием поведенческой модели – когда аспирант способен самостоятельно сориентироваться в

ситуации и квалифицированно решить стоящие перед ним задачи.

Предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм приобретения новых знаний. Семинарские занятия включают кейс-метод, метод «Дельфи» - поиска решений в процессе «мозговой атаки», проводимой группой аспирантов, и отбора лучшего решения исходя из экспертных оценок.

В обязательном порядке предусматривается самостоятельная работа с возможностью доступа к Интернет-ресурсам.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа аспирантов включает работу в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях) и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет. Самостоятельная работа аспирантов подкреплена учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, журналы.

Для текущего контроля усвоения теоретического материала, изложенного на лекциях, подготовлен список вопросов, включающий все темы. Этот перечень служит основой для самоконтроля и проверки знаний. Ключевые моменты обсуждаются на семинарах, там же проводится устный опрос аспирантов. В теоретической части курса для осуществления текущего контроля предусмотрено выполнение домашних заданий по основным направлениям дисциплины. Изучение курса завершается аттестацией в форме зачета.

Примерный перечень вопросов проведения контроля и аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Ионное равновесие. Потенциал покоя нейрона.
2. Активационные и инактивационные механизмы ионных каналов.
3. Вычисление равновесных функций активации и инактивации
4. Потенциал действия. Ионные механизмы и математическое описание.
5. Уравнения Ходжкина-Хаксли.
6. Фронт потенциала действия. Одномерное приближение.
7. Редукция уравнений Ходжкина-Хаксли к уравнениям второго порядка.
8. Классификация возбудимых свойств нейронов. Возбудимость класса I и класса II.
9. Изменение кальция в цитоплазме астроцитов. Основные механизмы.
10. Уравнения кальциевой возбудимости. Основные токи
11. Фазовая плоскость модели Ли-Ринцеля. Кальциевые импульсы.
12. Метод построения отображения Пуанкаре для описания отклика порогового нейрона на периодический внешний сигнал.
13. Сравнительный анализ возбудимых свойств нейрона и астроцита с точки

зрения теории динамических систем.

14. Тройственный синапс. Основные эффекты.

Критерии оценок

Зачтено	Успешное освоение основных компетенций курса. Умение правильно сформулировать ответ на поставленный вопрос, умение оценить основные возможности и ограничения математических моделей для сопоставления с экспериментальными данными. Активное участие в семинарских занятиях.
Не зачтено	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний. Не отработаны пропуски семинарских занятий.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Рекомендуемая литература

ОСНОВНАЯ:

1. Рубин А.Б. Биофизика, т. 2, М.: Высшая школа, 1987.
2. Николс Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А. От нейрона к мозгу, изд-во «Едиториал УРСС», М., 2003.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. -М.: Наука, 1984
4. Романовский, Ю.М., Степанова, Н.В., Чернавский, Д.С. Математическая биофизика. Наука. М. , 1984.
5. Скотт Э. Волны в активных и нелинейных средах в приложении к электронике. // Советское радио, 1977. 368 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ:

1. Хакен, Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным систе-мам. М.: Мир, 1991.
2. Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу. Ритмы жизни.- М.: Мир, 1991.- 248 с.
3. Романовский, Ю.М., Степанова, Н.В., Чернавский, Д.С. Математическое моделирование в биофизике. Наука. М. , 1975.
4. Абарбанель Г.Д.И., Рабинович М.И., Сельверстон А., Баженов М.В., Хуэрта Р., Сущик М.М., Рубчинский Л.Л. Синхронизация в нейронных ансамблях // УФН. 1996. Т. 166, N. 4
5. Борисюк Г.Н., Борисюк Р.Н., Казанович Я.Б., Лузянина Т.Б., Турова Т.С., Цимбалюк Г.С. Осцилляторные нейронные сети. Математика и приложения // Математическое моделиро-вание. 1992, Т. 4, N 1, 65-77 С.
6. Васильев В.А., Романовский Ю.М., Яхно В.Г. Автоволновые процессы, М.: Наука, 1987. 240 с.
7. В. И. Некоркин, “Нелинейные колебания и волны в нейродинамике”, УФН,

178:3 (2008), 313–323.

8. Анищенко, В.С. Сложные колебания в простых системах. Механизмы возникновения, структура и свойства хаоса в радиофизических системах. Наука. М. 1990.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные и научно-исследовательские лаборатории кафедры нейродинамики и нейробиологии, компьютеры с подключением к сети интернет, фундаментальная библиотека с системой онлайн-доступа к российским и международным поисковым ресурсам, а также к полнотекстовым базам научных журналов.

Автор д.ф.-м.н.

_____ В.Б. Казанцев

Руководитель школы, зав. каф. нейродинамики и

нейробиологии, д.ф.-м.н.

_____ В.Б. Казанцев