

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области «Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра биофизики

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физиология сенсорных систем**

(наименование дисциплины)

**по направлению (специальности)**

**140 307.65 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды»**

(№, наименование направления, специальности)

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: *специалист*

Курс (семестр): 4 курс, 8 семестр

г. Дубна, 2011г.

Авторы программы:

Островский М.А., доктор биологических наук, профессор, кафедра биофизики

\_\_\_\_\_

(подпись)

Фельдман Т.Б., кандидат биологических наук, доцент, кафедра биофизики

\_\_\_\_\_

(подпись)

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки 140307.65 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды»

Программа рассмотрена на заседании кафедры биофизики

Протокол заседания № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ /Е.А. Красавин /

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

ОДОБРЕНО

декан факультета

(подпись)

(ФИО)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ /В.Г. Черепанова/  
(подпись) (ФИО)

## 1. Аннотация

Программа дисциплины «Физиология сенсорных систем» составлена в соответствии с разделом ГОС ВПО для подготовки дипломированного специалиста по специальности 140307.65 «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Дисциплина «Физиология сенсорных систем» входит в цикл специальных дисциплин и изучается в восьмом семестре.

Год обучения - 4

Семестр – 8

### **Место курса в профессиональной подготовке специалиста**

Курс «Физиология сенсорных систем» призван обеспечить общеобразовательную, теоретическую подготовку студентов, необходимую для понимания основных принципов первичных процессов в зрении, а также мер, направленных на защиту зрительной системы от усугубляющего действия света и профилактику патологических процессов в сетчатке и ретинальном пигментном эпителии.

Студенты после изучения курса «Физиология сенсорных систем» должны получить представления о разнообразии зрительных пигментов в природе с целью понимания процессов эволюционной и временной спектральной настройки зрительного восприятия живых организмов при адаптации к различным условиям световой среды обитания; продемонстрировать знания принципов молекулярных механизмов в зрительной рецепции, проявить понимание роли хромофор-белкового взаимодействия в процессах фотохимического превращения зрительных пигментов; научиться применять базовые представления об основах первичных процессов в зрении для оптимального использования этих знаний в профилактике тяжелых зрительных патологий.

**Формы работы студентов:** в ходе изучения дисциплины предусмотрены лекционные занятия. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

**Самостоятельная работа** студентов, предусмотренная учебным планом, выполняется в ходе семестра в форме проработки материалов лекций.

**Виды текущего контроля** – опрос студентов на семинарских занятиях. Текущий контроль проводится с целью определения качества усвоения лекционного материала.

### **Форма промежуточного контроля:**

зачет.

### **Перечень обязательных видов работы студента:**

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы.

## 2. Цель и задачи дисциплины

Цель курса «Физиология сенсорных систем» – формирование у студентов биологического мышления, т.е. понимания того что несмотря на широкое использование в современной биологии достижений физики, химии, математики существуют особые законы биологической формы движения материи, не сводимые к законам точных наук. Центральное внимание в курсе будет уделено фотобиологии как важной биологической дисциплине, во многом определяющей прогресс науки в XX и в XXI веках.

Фотобиология – наука о биологических процессах, инициированных в живых системах действием света, поглощённым одним или несколькими хромофорами (фоторецепторами) этих систем. В основе фотобиологии лежат теоретические представления о физико-химических свойствах биологических молекул и сложных биологических структур, полученные из экспериментальных результатов при изучении фотофизических и фотохимических свойств простых и сложных органических молекул, красителей, природных и синтетических пигментов. Изучение таких процессов требует привлечения современных представлений физики, химии, биофизики и биологии. Знание механизмов первичных стадий фотобиологических процессов необходимо для понимания трансформации энергии поглощённых квантов света (фотонов) в таких явлениях как фотосинтез, зрение, повреждающее и лечебное действие ультрафиолетового и лазерного излучения. Изучение первичных стадий фотобиологических процессов неразрывно связано с использованием спектроскопических методов исследования, люминесценции, ядерного и электронного магнитных резонансов. Всё это требует глубоких знаний и методик физико-химического эксперимента. Именно в этом содержится суть современной фотобиологии, изучающей механизмы фотостимулированных процессов. В предлагаемом курсе лекций будут рассмотрены основы спектроскопии, фотофизики и фотохимии зрительных пигментов, а также первичные фотофизические и фотохимические стадии зрения.

### **3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.**

Содержание программы основывается на биологических знаниях, заложенных в полном школьном курсе биологии, и раскрывает фундаментальные представления науки о фотобиологических процессах в живых организмах на более глубоком естественнонаучном и философском уровне. В результате освоения программы дисциплины студент должен

#### **знать:**

- Общие принципы строения зрительной системы и фоторецепторных клеток.
- Строение молекулы зрительного пигмента и его спектральные свойства
- Молекулярные механизмы процесса фотопревращения родопсина.
- Молекулярные механизмы процесса фототрансдукции.
- Механизмы фотоповреждения сетчатки и ретинального пигментного эпителия.
- Основы профилактики различных офтальмологических заболеваний, связанных с патологией сетчатки и ретинального пигментного эпителия.

#### **уметь:**

- пользоваться справочной и монографической литературой в области биологии.

#### **быть ознакомленным:**

- с историей эволюционных идей в развитии знаний о зрительном восприятии.
- с основами фотобиологии

#### **иметь представление:**

- Об основных достижениях современной фотобиологии
- Об основах профилактики различных офтальмологических заболеваний, связанных с патологией сетчатки и ретинального пигментного эпителия.

#### **владеть:**

- основами современной фотобиологии, методами спектрального анализа.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы (час)

Вид занятий	Всего часов	Семестры
		8
<b>Общая трудоемкость</b>	100	100
<b>Аудиторные занятия:</b>	34	34
Лекции	34	34
Семинары (С)		
<b>Самостоятельная работа:</b>	66	66
Реферат		
<b>Вид итогового контроля</b>	зачет	зачет

#### 5. Разделы (темы) дисциплины, содержание и виды занятий

№ П/п	Раздел дисциплины	Лекции	Семина.	Самост. раб.
1.	Фотобиология, фоторецепция. Общие свойства сенсорной рецепции. Глаз, сетчатка, фоторецепторные клетки, зрительные пигменты.	4		8
2.	Зрительный пигмент родопсин: структура и функции. Спектральные свойства зрительных пигментов.	4		8
3.	Фотохимия зрительных пигментов у позвоночных и беспозвоночных. Фотолиз родопсина.	4		8
4.	Фототрансдукция и генерация фотопотенциала на фоторецепторной клетке Молекулярные механизмы трансдукции: активация. Взаимодействие родопсина с трансдуцином в фоторецепторной клетке	5		9
5.	Молекулярные механизмы трансдукции: инактивация. Взаимодействие родопсина с арестином в фоторецепторной клетке. Механизмы фотоповреждения сетчатки.	5		9
6.	Механизмы фотоповреждения пигментного эпителия глаза. Системы защиты от опасности фотоповреждения.	4		8
7.	Оптика глаза: хрусталик. Фотоповреждение хрусталика и молекулярные механизмы защиты от такого повреждения. Спектральная коррекция зрения.	4		8
8.	Фундаментальные исследования и офтальмология	4		8

## Содержание разделов дисциплины

### **1. Фотобиология, фоторецепция. Общие свойства сенсорной рецепции. Глаз, сетчатка, фоторецепторные клетки, зрительные пигменты.**

Предмет и задачи фотобиологии. Определение фотобиологии, ее место в ряду биологических дисциплин. Граница раздела между фотобиологией и радиобиологией. Спектральная область фотобиологических процессов. Эволюция фотобиологических процессов. Функционально-физиологические реакции. Свет и биологические системы. Природа света. Основные параметры, характеризующие свет. Энергия квантов света. Общие закономерности и особенности поглощения света биосистемами. Общие стадии фотобиологической реакции: поглощение света фоторецепторами, возбужденные состояния, первичная фотохимическая реакция, сопряжение фотохимической реакции с биохимическими реакциями, конечный физиологический эффект. Фоторецепторные клетки. Организация фоторецепторов. Хромофоры и пигменты.

### **2. Зрительный пигмент родопсин: структура и функции. Спектральные свойства зрительных пигментов.**

Молекула родопсина в фоторецепторной мембране наружного сегмента палочки сетчатки. Особенности строения родопсина как G-белок-связывающего рецептора. Функции 11-*цис*-ретиная как хромофорной группы. Особенности взаимодействия хромофора с окружающими его аминокислотными остатками в области бета-иононового кольца и протонированного Шиффова основания.

### **3. Фотохимия зрительных пигментов у позвоночных и беспозвоночных.**

Спектр поглощения (спектральная чувствительность) зрительных пигментов – «опсиновый сдвиг». Определение фотохимической реакции, квантового выхода и фотлиза. Фотопревращения родопсина позвоночных и беспозвоночных животных. Особенности процесса фотоллиза родопсина. Ключевые стадии фотоллиза родопсина позвоночных: 1. Фотоизомеризация 11-*цис* ретиная; 2. Взаимодействие метародопсина II с G-белком; разрыв связи полностью-*транс* ретиная с белком и высвобождение полностью-*транс* ретиная.

Методы исследования процесса фотоллиза родопсина.

### **4. Фототрансдукция и генерация фотопотенциала на фоторецепторной клетке. Молекулярные механизмы трансдукции: активация. Взаимодействие родопсина с трансдуцином в фоторецепторной клетке.**

Молекулярный механизм фототрансдукции – преобразование энергии поглощенного родопсином кванта света в электрический сигнал зрительной клетки (фоторецепторный потенциал).

Фототрансдукция: механизм активации каскада. Фотоллиз родопсина: вторая ключевая стадия – запуск процесса фототрансдукции (родопсин - G-белок связывающий рецептор, полностью-*транс* ретиналь - лиганд-агонист). Взаимодействие метародопсина II с G-белком запускает каскад фототрансдукции. В темноте уровень цГМФ высокий, каналы мембраны открыты. Работа гуанилатциклазы и фосфодиэстеразы взаимно сбалансированы. На свету уровень цГМФ в клетке падает, каналы плазматической мембраны закрываются. Фототок прекращается, клетка гиперполяризуется. Уровень внутриклеточного кальция падает, что приводит к активации гуанилатциклазы.

### **5. Молекулярные механизмы трансдукции: инактивация.**

Взаимодействие родопсина с арестином в фоторецепторной клетке. Отличие механизма трансдукции у позвоночных и беспозвоночных.

Фототрансдукция: механизм инактивации каскада.

I этап: инактивация родопсина родопсиновой киназой и затем арестином. В темноте белок рековерин «держит» родопсиновую киназу в неактивном состоянии. Фототрансдукция: механизм инактивации каскада.

II этап: инактивация комплекса трансдуцина и фосфодиэстеразы регулятором G-белка (RGS – Regulator of G-protein Signaling), b-субъединицей трансдуцина (Gb5 – G-protein b-subunit) и двумя g-субъединицами фосфодиэстеразы. Отличие механизма трансдукции у позвоночных и беспозвоночных (гиперполяризация и деполяризация).

#### **6. Механизмы фотоповреждения сетчатки и пигментного эпителия глаза.**

Фотобиологический парадокс зрения: свет – носитель зрительной информации и потенциально опасный повреждающий фактор. Причина фотобиологического парадокса: потенциальная опасность фотоповреждения – это следствие сочетания в фоторецепторах сетчатки и клетках пигментного эпителия трёх факторов, необходимых и достаточных для реакции фотоокисления: фотосенсибилизаторов, поглощающих свет в ультрафиолетовой и синей областях спектра, высокого содержания кислорода, легко окисляемых субстратов – фосфолипидов, содержащих длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты, и белков. Источником фотосенсибилизаторов является родопсин, который в процессе фотолиза распадается на опсин и свободный полностью *транс*-ретиналь. В процессе эволюции сформировались две функциональные системы глаза: 1. Фоторецепция: фототрансдукция, адаптация, цветовое зрение. 2. Защита от опасности фотоповреждения: постоянное обновление наружных сегментов палочек и колбочек, антиоксиданты, оптические среды глаза как светофильтры (хрусталик).

#### **7. Оптика глаза: хрусталик.**

Хрусталик млекопитающих и человека представляет собой клеточный синцитий, образованный специфическими волоконными клетками. Волоконные клетки лишены ядер и других органелл, их цитоплазма представляет собой высококонцентрированный раствор белка (до 500 мг/мл). Основная функция хрусталика – фокусировка изображения на сетчатке глаза. Помутнение хрусталика, то есть катаракта – главная причина ослабления зрения в развитых странах.

В обеспечении прозрачности хрусталика важную роль играет ближний порядок упаковки трех основных белков: альфа-, бета-, и гамма-кристаллинов. То есть белки хрусталика образуют структуру чем-то похожую на кристалл. Белки ядерной области хрусталика глаза практически не обмениваются и могут претерпевать накопительную посттрансляционную модификацию (окисление, гликирование, ограниченный протеолиз) и агрегировать. Появление белковых агрегатов в цитоплазме волоконных клеток вызывает локальные изменения коэффициента преломления среды, увеличение светорассеяния и помутнение хрусталика.

Фотоповреждение хрусталика и молекулярные механизмы защиты от такого повреждения.

## **6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### *Основная литература*

1. Рубин А.Б. Биофизика : Учебник для вузов: В 2 т. Т.2 : Биофизика клеточных процессов/ Рубин Андрей Борисович ; МГУ им. М.В.Ломоносова. - 3-е изд.,испр.и доп. - М. : Наука : Издательство Московского университета, 2004. - 471с. : ил. - (Классический университетский учебник). - Рек.лит.:с.469.- Предм.указ.:с.471. // ЭБС «КнигаФонд». - URL: <http://www.knigafund.ru/books/18810> (дата обращения: 30.08.2011).-Режим доступа: с компьютеров ун-та «Дубна».
2. Владимиров Ю.А. Физико-химические основы фотобиологических процессов: Учебник для вузов / Владимиров Юрий Андреевич, Потапенко Александр Яковлевич. - 2-е изд.,перераб.и доп. - М.: Дрофа, 2006. - 285с.: ил.

### *Дополнительная литература*

1. Варфоломеев С.Д. Сенсорная биология, сенсорные технологии и создание новых органов чувств человека / Варфоломеев Сергей Дмитриевич, Евдокимов Юрий Михайлович, Островский Михаил Аркадьевич // Вестник Российской академии наук. - 2000. - Т.70, № 2. - С. 99 - 108.
2. Логинова М.Ю. и др. Радиорезистентность сетчатки: под действием гамма-излучения в сетчатке мышей формируются разрывы ДНК, увеличивается содержание белка p53, сопровождаемые репарацией ДНК и отсутствием апоптоза клеток / [Логинова М.Ю., Тронов В.А., Белецкая Т.А., Фельдман Т.Б., Панова И.Г., Островский М.А.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. - №6.

## **7. Технические и электронные средства обучения**

При освоении дисциплины используется компьютер, проектор.

Используются презентации по отдельным темам лекций. Для самостоятельной работы используются компьютерные классы с доступом к ресурсу Интернет.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Аудитория, оборудованная экраном и прибором для демонстрации лекционного материала.

## **9. Формы контроля**

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

*Вопросы к зачету по фотохимии и фотобиологии первичных процессов зрения:*

- **Фотобиология, фоторецепция.**

Общие свойства сенсорной рецепции.

Глаз, сетчатка, фоторецепторные клетки, зрительные пигменты.



- **Зрительный пигмент родопсин: структура и функции.**

Молекула родопсина в фоторецепторной мембране наружного сегмента палочки сетчатки. Особенности строения родопсина как G-белок-связывающего рецептора. Функции 11-*цис*- ретиналя как хромофорной группы. Особенности взаимодействия хромофора с окружающими его аминокислотными остатками в области бета-иононового кольца и протонированного Шиффова основания.

- **Фотохимия зрительных пигментов у позвоночных и беспозвоночных.**

Спектр поглощения (спектральная чувствительность) зрительных пигментов – «опсиновый сдвиг».

Определение фотохимической реакции, квантового выхода и фотлиза.

Фотопревращения родопсина позвоночных и беспозвоночных животных

Особенности процесса фотоллиза родопсина. Ключевые стадии фотоллиза родопсина позвоночных.

Методы исследования процесса фотоллиза родопсина.

- **Фототрансдукция и генерация фотопотенциала на фоторецепторной клетке.**

Определение фототрансдукции.

Молекулярные механизмы трансдукции: активация.

Взаимодействие родопсина с трансдуцином в фоторецепторной клетке.

- **Молекулярные механизмы трансдукции: инактивация.**

Взаимодействие родопсина с арестином в фоторецепторной клетке.

Отличие механизма трансдукции у позвоночных и беспозвоночных.

- **Механизмы фотоповреждения сетчатки и пигментного эпителия глаза.**

Фотобиологический парадокс зрения: свет – носитель зрительной информации и потенциально опасный повреждающий фактор. Основной источник парадокса.

Две функциональные системы глаза.

Роль ретинального пигментного эпителия в зрительном цикле.

Механизмы защиты от опасности фотоповреждения.

- **Оптика глаза: хрусталик.**

Фотоповреждение хрусталика и молекулярные механизмы защиты от такого повреждения.

- **Фундаментальные исследования и офтальмология**

Спектральная коррекция зрения

## **Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Кроме лекций и практических занятий, система университетского образования предполагает самостоятельную работу студентов по изучению основных направлений и рассмотрению теоретических и практических проблем изучаемого курса. Цель самостоятельной работы студентов заключается в более глубоком усвоении учебного материала и в развитии навыков самообразования. Самостоятельная работа студентов обычно складывается из нескольких составляющих: работой с учебниками, первоисточниками, дополнительной литературой, в том числе материалами интернета, а также проработка конспектов лекций; подготовкой докладов, сообщений, написанием рефератов; подготовкой к зачету.