

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВПО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан  
медицинско-биологического факультета

 Т.Н. Попова

18.03.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ОД.4 Биоэнергетика и метаболизм**

1. Шифр и наименование специальности: Биохимия
2. Отрасль: Биологические науки
3. Квалификация (степень) выпускника: преподаватель-исследователь
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: медицинской биохимии и микробиологии
6. Составители программы: Попова Т.Н., д.б.н., профессор,  
Сафонова О.А., к.б.н., доцент
7. Рекомендована: научно-методическим советом медико-биологического факультета 18.03.2020 г., протокол №2
8. Учебный год: 2023/2024 Семестр(ы)/Триместр(ы): 7

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины:**

### Цели:

получение современных представлений об основных типах систем биологического окисления эукариотической клетки; формирование понимания роли митохондриальной системы окисления в биоэнергетике клетки и клеточной биологии;

формирование представлений о ткане- и органоспецифических особенностях структурно-функциональной организации митохондрий; получение современных представлений о микросомальной системе окисления и ее роли в биоэнергетике и биохимических процессах клетки;

формирование понимания роли активных форм кислорода, образующихся при работе систем биологического окисления клетки, в процессах регуляции клеточного метаболизма при разных физиологических состояниях организма.

### Задачи:

- изучение основных систем биологического окисления клетки: митохондриальной системы окислительного фосфорилирования и микросомальной монооксигеназной системы;
- знакомство с основными методами изучения ферментных систем, обеспечивающих сопряженное и несопряженное окисление;
- получение знаний об особенностях структурно-функциональной организации генома митохондрий и его отличиях от геномов других ДНК-содержащих органелл эукариотической клетки (хлоропластов и ядра);
- получение знаний об особой роли митохондрий в ретроградной регуляции экспрессии ядерных генов; детальное знакомство с ролью кислорода и его активных форм как факторов регуляции метаболических процессов;
- изучение повреждающих эффектов активных форм кислорода, образующихся в митохондриях, в отношении основных типов информационных биополимеров (ДНК, РНК и белков);
- получение знаний о клеточных системах контроля активных форм кислорода и сигнальной роли активных форм кислорода;
- изучение взаимоотношений систем окислительного фосфорилирования, микросомального окисления и фотосинтеза у растений.

## **10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 06.06.01 Биологические науки. Курс предполагает наличие у аспиранта знаний основ метаболических превращений в клетке, закономерностей протекания биоэнергетических процессов основанных на знаниях по биологии, органической химии, биохимии и биофизики в объеме программы высшего профессионального образования.

Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке и написании диссертации по специальности 03.01.04 – Биохимия.

## **11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими универсальными компетенциями:

способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими общепрофессиональными компетенциями:

способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

готовностью к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими профессиональными компетенциями

**Основные знания, необходимые для изучения дисциплины формируются:**

**В результате изучения данного курса аспирант должен знать:**

1. структурно-функциональную организацию основных систем биологического окисления клетки; роль активных форм кислорода, образующихся при работе клеточных систем биологического окисления, в процессах регуляции клеточного метаболизма при разных физиологических состояниях организма;
2. знать механизмы окислительного и фотосинтетического фосфорилирования, молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения;
3. знать химические механизмы транспорта веществ в клетке, происхождение потенциала покоя и потенциала действия, работу АТФ-аз, механизмы распространения возбуждения (одиночных импульсов и ряда импульсов);
4. важность определения содержания активных форм кислорода как высокоинформационного диагностического и физиолого-биохимического параметра в медицине и биологии.

**В результате изучения данного курса аспирант должен уметь:**

1. использовать знания дисциплины для решения научно-исследовательских задач профессиональной специализации; использовать полученные знания для расширения своего кругозора и совершенствования общей профессиональной подготовки.
2. вести поиск необходимой информации по данной теме и использовать литературные данные как средство для решения профессиональных задач;
3. принимать участие в научной дискуссии по вопросам, связанным с особенностями биоэнергетических процессов в метаболизме.

**В результате изучения данного курса аспирант должен иметь навыки:**

1. самостоятельной работы с литературой по данной тематики;
2. навыками решения задач по отдельным темам дисциплины.
3. оценки и статистической обработки данных, полученных в ходе биохимического анализа;

4. рационального и эффективного использования информационных и компьютерных технологий в решении поставленных задач.

**Структура и содержание учебной дисциплины:**

**12.1 Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 1 / 144.**

**12.2 Виды учебной работы:**

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)
Аудиторные занятия	4
в том числе:	
лекции	4
практические	
лабораторные	
Самостоятельная работа	86
Контроль	54
Итого:	144

**12.3 Содержание разделов дисциплины:**

№ П/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Вид учебной работы
1.	Биологическая энергия. Метаболизм: пути, регуляция	Поток биологической энергии. Законы термодинамики в биологических системах. Энтропия биологических систем. Метаболизм: понятие и функции. Макроскопический аспект метаболизма. Автотрофы и гетеротрофы. Аэробы и анаэробы. Круговороты N, C, O. Метаболические пути: линейные и циклические. Катаболические и анаболические пути и их взаимосвязь. Регуляция метаболических путей: по типу обратной связи, гормональная регуляция, индукция ферментов.	самостоятельная работа
2.	Законы биоэнергетики. Биомембранны.	Законы биоэнергетики (В.П.Скулачеву): протонный и натриевый потенциал, три закона биоэнергетики. Генерация потенциала на мемbrane. Структура биологических мембран, их роль в митохондриях, хлоропластах, хроматофорах. История изучения строения мембран. Типы мембран в клетке и их функции. Современные представления о структуре и географии мембранных доменов.	Аудиторные занятия, Самостоятельная работа
3.	Мембранные системы транспорта. АТФазы.	Мембранные системы транспорта: Na/K-АТФаза (локализация, структура, реакционный цикл). Мембранные системы транспорта: Ca-АТФаза (локализация, структура, реакционный цикл). Регуляция активности АТФаз.	Самостоятельная работа
4.	Катаболизм глюкозы:	Катаболизм глюкозы: общий взгляд. Мобилизация запаса глюкозы из гликогена. Ферменты гликолиза: функция, общая характеристика. Реакции гликолиза.	Аудиторные занятия, Самостоятельная работа
5.	Особенности гликолиза	Энергетический баланс гликолиза.	Самостоятель-

		<i>Расстройства связанные с нарушением гликолиза. Пути превращения пирувата.</i>	ная работа
6.	Особенности цикла Кребса.	<i>Ферменты цикла Кребса: функция, общая характеристика. Реакции цикла Кребса. Энергетический баланс цикла Кребса.</i>	Самостоятельная работа
7.	Дыхательная цепь. Окислительное фосфорилирование.	<i>Источники электронов для е-транспортной цепи. Дыхательная цепь: комплексы, переносчики, ингибиторы. Окислительное фосфорилирование: АТФ-синтетаза, хемиосмотическая теория, механизм создания трансмембранных градиентов протонов. Общая схема окислительного фосфорилирования. Челночные системы внутренней мембранных митохондрий: назначение, механизм функционирования. Расстройства связанные с нарушением фосфорилирования.</i>	самостоятельная работа
8.	Регуляция катаболизма глюкозы.	<i>Схема регуляции катаболизма глюкозы. Регуляция гликолиза, цикла Кребса. Регуляторные взаимосвязи катаболизма глюкозы.</i>	Самостоятельная работа

## 12.4 Междисциплинарные связи с другими дисциплинами:

Дисциплина имеет тесные связи с биохимией, биофизикой.

## 12.5 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Биологическая энергия. Метаболизм: пути, регуляция				10	10
2.	Законы биоэнергетики. Биомембранные.	2			6	8
3.	Мембранные системы транспорта. АТФазы.				14	14
4.	Катаболизм глюкозы:				13	13
5.	Особенности гликолиза				13	13
6.	Особенности цикла Кребса.				10	10
7.	Дыхательная цепь. Окислительное фосфорилирование.	2			10	12
8.	Регуляция катаболизма глюкозы.				10	10

## 12.6 Вопросы для контроля самостоятельной работы:

- Поток биологической энергии. Законы термодинамики в биологических системах. Энтропия биологических систем.
- Метаболизм: понятие и функции.
- Макроскопический аспект метаболизма.
- Автотрофы и гетеротрофы. Аэробы и анаэробы.
- Круговороты N, C, O.

6. Метаболические пути: линейные и циклические. Катаболические и анаболические пути и их взаимосвязь.
7. Регуляция метаболических путей: по типу обратной связи, гормональная регуляция, индукция ферментов.
8. Предмет и задачи биоэнергетики. История становления биоэнергетики как науки.
9. Превращения энергии в живой клетке. Основные принципы биоэнергетики.
10. Архитектура митохондрий. Распределение и локализация митохондрий в клетке. Химическая активность митохондрий.
11. Дыхательная цепь. Компоненты дыхательной цепи митохондрий. Последовательность функционирования переносчиков электронов и протонов.
12. Механизмы работы митохондриальных комплексов 1, 2, 3 и 4.
13. Окислительное фосфорилирование. Регуляция дыхания, разобщение и обменные реакции.
14. Хемиосмотический механизм запасания энергии дыхания.
15. Циклическая светозависимая цепь фотосинтезирующих бактерий и нециклическая светозависимая цепь зелёных бактерий.
16. Нециклическая светозависимая редокс-цепь хлоропластов и цианобактерий.
17. Светозависимый транспорт протонов бактериородопсина.
18. Химические свойства АТФ. Стандартная свободная энергия гидролиза АТФ. Высокоэнергетические и низкоэнергетические фосфаты.
19. АТФ-синтаза. Структура и механизмы функционирования.
20. Транспорт адениновых нуклеотидов и фосфатных групп в митохондриях.
21. Системы переноса восстановительных эквивалентов в митохондриях. Регуляция потоков восстановительных эквивалентов.
22. Системы переносчиков через митохондриальную мембрану. Каскадные системы переносчиков.
23. Карнитин, как пример трансмембранных переносчиков химической группировки.
24. Протонный потенциал как источник энергии для образования теплоты.
25. Молекулярные основы биологической подвижности. Креатинфосфатный путь транспорта энергии в мышечных клетках.
26. Энергетический обмен в кардиомиоцитах. Нарушения энергообразования в клетках сердечной мышцы: причины и следствия.
27. Молекулярные основы первично-активного транспорта ионов. Свойства АТФаз Р-типа, F-типа и V-типа.
28. Натриевый потенциал, натрий-транспортирующая дыхательная цепь, натрий-транспортирующая АТФаза.
29. Утилизация натриевого потенциала для осмотической, химической и механической работы.
30. Дыхательный контроль. Соотношение АДФ/Р и Р/О.
31. Специфические методы мембранный биоэнергетики.
32. Законы биоэнергетики (В.П. Скулачев): протонный и натриевый потенциал, три закона биоэнергетики. Генерация потенциала на мембране.
33. Структура биологических мембран, их роль в митохондриях, хлоропластах, хроматофорах.
34. История изучения строения мембран.
35. Типы мембран в клетке и их функции. Современные представления о структуре и географии мембранных доменов.
36. Общие представления о биологических мембранах. Молекулярная и мембранные биология. Функция мембран. Современные проблемы мембранологии.
37. Теория строения мембран. Матриксная функция мембран. Гетерогенность мембран. Компоненты биологических мембран: липиды, белки, углеводороды, вода.
38. Мембранный транспорт. Перенос вещества через мембрану. Избирательная проницаемость мембран. Равновесие по разные стороны мембраны.
39. Мембранные системы транспорта: Na/K-АТФаза (локализация, структура, реакционный цикл).
40. Мембранные системы транспорта: Са-АТФаза (локализация, структура, реакционный цикл).
41. Регуляция активности АТФаз.
42. Катаболизм глюкозы: общий взгляд.
43. Мобилизация запаса глюкозы из гликогена.
44. Ферменты гликолиза: функция, общая характеристика.
45. Реакции гликолиза.
46. Энергетический баланс гликолиза.
47. Рассстройства связанные с нарушением гликолиза.
48. Пути превращения пирувата.
49. Ферменты цикла Кребса: функция, общая характеристика.
50. Реакции цикла Кребса.
51. Энергетический баланс цикла Кребса.
52. Источники электронов для е-транспортной цепи.
53. Дыхательная цепь: комплексы, переносчики, ингибиторы.
54. Окислительное фосфорилирование: АТФ-синтетаза, хемиосмотическая теория, механизм создания трансмембранных градиентов протонов.
55. Общая схема окислительного фосфорилирования.
56. Челюстные системы внутренней мембраны митохондрий: назначение, механизм функционирования.
57. Рассстройства связанные с нарушением фосфорилирования.

58. Схема регуляции катаболизма глюкозы. Регуляция гликолиза, цикла Кребса. Регуляторные взаимосвязи катаболизма глюкозы.
59. Рассеяние энергии дыхания при терморегуляции.
60. Полный энергетический баланс полного окисления молекулы глюкозы.
61. Ферменты глюконеогенеза: функция, общая характеристика.
62. Реакции глюконеогенеза.
63. Субстраты для глюконеогенеза.
64. Энергетический баланс глюконеогенеза.
65. Расстройства связанные с нарушением глюконеогенеза.
66. Фотосинтез общая схема и энергетический баланс.
67. История изучения фотосинтеза.
68. Световая и темновая фазы фотосинтеза.
69. Пигменты фотосинтеза и их роль, реакционный центр, фотосистемы.
70. Модель световых реакций (Z-схема).
71. Фотофосфорилирование (нециклическое и циклическое).
72. C3- и C4-пути темновых реакций фотосинтеза
73. Фотодыхание у C3- и C4-растений и их продуктивность. CAM-метаболизм.
74. Вторичные метаболические пути: пентозо-фосфатный путь, глиоксилатный цикл.
75. Эволюция биологических механизмов запасания энергии (по В.П.Скулачеву): «адениновый» фотосинтез, бактериородопсиновый фотосинтез, хлорофильный фотосинтез зеленых серных, пурпурных и цианобактерий, дыхательное фосфорилирование.
76. Методы регистрации трансмембранный разности протонного потенциала.
77. Процессы самоорганизации в распределенных биологических системах.
78. Критерий самопроизвольности процесса.
79. Химическая природа хромофоров зрительных пигментов.

### 13. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов литературы)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Биологическая химия с упражнениями и задачами: учебник / С.Е. Северин [и др.]; под ред. Е.С. Северина. — М. : ГЭОТАР-Медиа, 2011.— 622 с.: цв. ил., табл. + 1 CD
2.	Алейникова Т.Л. Биохимия: учебник / Т.Л. Алейникова, Л.В. Абдеева, Л.Е. Адрианова.— М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006.— 779 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3.	Жеребцов Н. А. Биохимия : учебник / Н. А. Жеребцов, Т.Н. Попова, В.Г. Артюхов. - Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. - 696 с.
4.	Медицинская энзимология: учебное пособие / Т.Н. Попова, Т.И. Рахманова, С.С. Попов [научный редактор М.А. Наквасина].— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2008.— 63 с.
5.	Плакунов В.К. Основы энзимологии / В.К. Плакунов. — М.: Логос, 2001. — 126 с.
6.	Кнорре Д.Г. Биологическая химия : учебник для студентов хим. биол. и мед. спец. вузов / Д.Г. Кнорре, С.Д. Мызина. - М. : Высш. школа, 2002. - 478 с.
7.	Биохимия : учебник; под ред. Е.С. Северина. - М.: ГЭОТАР-Мед , 2004. - 779 с.
8.	Бышевский А.Ш. Биохимия для врача / А.Ш. Бышевский, О.А. Терсенов. – Екатеринбург: Уральский рабочий. – 1994. – 383 с.
9.	Березин И.В. Основы физической химии ферментативного катализа / И.В.Березин, К. М. Мартинек. - Высш. школа. – 1977. – 280 с.
10.	Основы биохимии : в 3 т. / А. Уайт [и др.]. - М. : Мир, 1981 .-Т. 1-3.
11.	Молекулярная биология клетки : в 3 т. / Б. Альберте [и др.]. - М. : Мир. 1984. -. Т. 1-3.
12.	Ленинджер А. Основы биохимии : в 3 т. / А. Ленинджер. - М. : Мир, 1985. – Т. 1,2.
13.	Биохимия человека : в 2 т. / Р. Марри [и др.]. - М. : Мир, 2004. - 415 с.
14.	Березов Т.Т. Биологическая химия : учебник для студ. мед. и биол. спец. вузов / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин. - М.: Медицина, 2004. - 528 с.
15.	Варфоломеев С.Д. Химическая энзимология / С.Д. Варфоломеев .— М.: Academia, 2005.— 471 с.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

№ п/п	Источник
16.	<i>Полнотекстовые базы данных и ресурсы, доступ к которым обеспечен из сети ВГУ (сайт научной библиотеки ВГУ, URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a>): Издания Воронежского государственного университета Полнотекстовая БД диссертаций РГБ БД реферативных журналов Научная электронная библиотека РФФИ (e-Library) БД издательства ELSEVIER БД <a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed">www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed</a></i>
17.	<i>Библиотека полнотекстовых учебников и учебных пособий по гуманитарно-экономическим, естественно-научным и техническим дисциплинам (<a href="http://window.edu.ru/window/library">http://window.edu.ru/window/library</a>)</i>

#### **14. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Кафедра медицинской биохимии и микробиологии, обеспечивающая реализацию образовательной программы, располагает материально-технической базой и аудиторным фондом, обеспечивающим проведение лекций, семинаров и иных видов учебной работы аспирантов, предусмотренных учебным планом и соответствующим действующим санитарно-техническим нормам.

#### **15. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

Самостоятельная работа аспиранта включает:

*Изучение учебного материала, перенесенного с аудиторных занятий на самостоятельную проработку.*

*Выявление информационных ресурсов в научных библиотеках и сети Internet по следующим направлениям: химический синтез, выделение из природных источников, генно-инженерные пути получения, структурные исследования, связь между строением и биологическим действием, протеомика, надмолекулярные комплексы: белково-нуклеиновые молекулярные машины, практическое приложение научных результатов.*

*Конспектирование и рефериование первоисточников и научно-исследовательской литературы по тематическим блокам.*

Поддержка самостоятельной работы:

*Список литературы и источников для обязательного прочтения.*

*Полнотекстовые базы данных и ресурсы, доступ к которым обеспечен из сети ВГУ (сайт научной библиотеки СамГУ, URL: <http://www.lib.vsu.ru>):*

1. Издания Воронежского государственного университета
2. Полнотекстовая БД диссертаций РГБ
3. БД реферативных журналов
4. Научная электронная библиотека РФФИ (e-Library)
5. БД издательства ELSEVIER
6. БД [www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed)
7. Университетская библиотека ONLINE
8. Университетская информационная система России

*Библиотека полнотекстовых учебников и учебных пособий по гуманитарно-экономическим, естественно-научным и техническим дисциплинам (<http://window.edu.ru/window/library>)*

Тематика рефератов – не предусмотрены.

Итоговый контроль проводится в виде зачета.

#### **16. Критерии аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Оценка – аттестован

Полное знание учебного материала, предусмотренного рабочей программой, успешное выполнение всех заданий, предусмотренных формами текущего контроля. Ответ обоснован, аргументирован.

Допускаются незначительные ошибки, неточности, которые аспирант исправляет после замечаний преподавателя.

Оценка – не аттестован

Знания несистематические, отрывочные. В ответах допущены грубые, принципиальные ошибки.

Затруднения в формулировании основных определений, при решении задач, которые не устранены после наводящих вопросов.