

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Председатель

Учебно-методического объединения
вузов Республики Беларусь
по естественнонаучному образованию

В.В. Самохвал

15 мая 2006

Регистрационный № ТД- Г. 017/тип.

БИОФИЗИКА

Учебная программа

для высших учебных заведений по специальности

1-31 01 01 Биология

СОГЛАСОВАНО

Председатель научно-методического совета по
специальности Биология УМО по
естественнонаучному образованию

В.В. Лысак

19 апреля 2006

Первый проректор Государственного учрежде-
ния образования

«Республиканский институт
высшей школы»

В.И. Дынич

30 мая 2006

Эксперт-нормоконтролер

С.М. Артемьева

30 мая 2006

Минск

2006

Составители:

Филимонов М.М. – доцента кафедры биохимии Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент;

Семак И.В. - доцент кафедры биохимии Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент;

Новиков Д.А. - доцент кафедры биохимии Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук

Рецензенты:

Кафедра экологической медицины и радиобиологии Учреждения образования «Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова»;

Слабожанина Е.И. – заместитель директора по научной и инновационной работе Государственного научного учреждения «Института биофизики и клеточной инженерии Национальной Академии наук Беларуси», доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси

Рекомендован к утверждению в качестве типовой:

Кафедрой биохимии биологического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 21 марта 2006г.);

Ученым советом биологического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 8 от 18 апреля 2006 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 25 апреля 2006г.).

Ответственный за редакцию: Филимонов Михаил Михайлович.

Ответственный за выпуск: Филимонов Михаил Михайлович.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Биофизика как междисциплинарная наука, находящаяся на стыке биологии, физики, химии и математики, играет существенную роль в формировании мировоззрения современного биолога, дает базу для глубокого усвоения других дисциплин, относящихся к разделу физико-химической биологии и биотехнологии. Современная биофизика стремительно развивается, ее достижения способствуют переходу биологии на качественно более высокий атомно-молекулярный уровень исследования.

Цели преподавания биофизики:

1. Освоение студентами основных принципов и теоретических положений биофизики.

2. Объяснение взаимосвязи физического и биологического аспектов функционирования живых систем.

3. Приобретение студентами навыков биофизического подхода к экспериментальному исследованию биологических явлений и закономерностей.

Программа включает следующие разделы: термодинамика биологических систем, кинетика биопроцессов, молекулярная биофизика, биофизика мембран и транспорт веществ через биомембраны, биоэлектрогенез, молекулярные механизмы процессов энергетического сопряжения, биофизика сократительных систем, фотобиологические процессы, регуляция биологических процессов.

Программа рассчитана на 34 лекционных часа.

ВВЕДЕНИЕ

Предмет и задачи биофизики. Уровни биофизических исследований; методы исследования и требования, предъявляемые к ним. Связь биофизики с другими науками: физикой, химией, биохимией, физиологией и молекулярной биологией. Границы и своеобразие проявления законов физики и химии в биологии; принцип качественной несводимости законов физики и биологии. Методологические вопросы биофизики: диалектический подход к вопросу о соотношении физических и биологических форм движения материи, принципы системного, функционально-структурного и исторического подхода к изучению природы биологических явлений. История развития биофизики. Задачи и перспективы развития современной биофизики. Значение биофизики для биологии, медицины, сельского хозяйства и биотехнологии.

ТЕРМОДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предмет и задачи биологической термодинамики. Термодинамические системы, их классификация. Особенности живых организмов как термодинамических систем. Термодинамические функции, применяемые при анализе биологических процессов. Первый закон термодинамики в биологии. Экспериментальное доказательство его применимости к живым системам с помощью метода калориметрии. Закон Гесса как следствие 1-го закона термодинамики,

его применимость к биопроцессам и практическое значение. Второй закон термодинамики в биологии. Стационарное состояние открытых систем, его сходство и отличия от термодинамического равновесия. Изменение энтропии и свободной энергии в открытых системах. Доказательство применимости 2-го закона термодинамики к биосистемам. Принцип минимума прироста энтропии (теорема Пригожина). Условия перехода живых систем на новый стационарный уровень. Устойчивость стационарных состояний. Термодинамика систем вдали от равновесия (нелинейная термодинамика); ее основные черты.

Применение термодинамики в биологии. Расчет термодинамических функций и энергетических эффектов химических реакций в биосистемах (энтропии, энтальпии, свободной энергии, коэффициентов полезного действия метаболических циклов). Свободная энергия Гельмгольца и Гиббса. Изменение стандартной свободной энергии и константа равновесия. Термодинамические характеристики важнейших молекулярно-энергетических процессов в биосистемах (окисление углеводов, липидов, фотосинтез и др.). Структура АТФ и других макроэргических соединений, их сравнительная энергетическая характеристика и участие в сопряжении экзергонических и эндэргонических стадий метаболизма основном пути преобразования и запасания энергии в организме. Типы аккумуляции и пути расходования энергии в живых системах.

КИНЕТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Предмет и задачи биокинетики, ее особенности. Описание кинетического поведения биосистем на различных уровнях биологической организации. Перевод химических уравнений в уравнения скорости реакций. Кинетика реакций нулевого, первого и второго порядка. Анализ последовательных (линейных) и разветвленных реакций. Обратимые и необратимые реакции, константа равновесия. Принцип "узкого места" в биологических процессах. Автокаталитические и цепные реакции в биосистемах, особенности их кинетики. Роль свободных радикалов в развитии цепных процессов.

Кинетика ферментативных реакций. Особенности ферментативного катализа. Формальная схема простейшей ферментативной реакции. Фермент-субстратный комплекс, методы его обнаружения. Графическое изображение зависимости скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата, температуры, рН и других факторов; определение оптимальных условий для действия фермента. Стационарная кинетика ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен и его алгебраическое преобразование для определения объединенной константы скорости. Строение, свойства и особенности кинетики аллостерических (регуляторных) ферментов, их участие в саморегулировании биопроцессов.

Ингибирование ферментов, его типы. Кинетическая модель для определения типа ингибирования ферментативных реакций. Практическое значение ингибирования.

Современное представление о механизме действия ферментов. Энергетическая схема ферментативной реакции. Модели ферментативного катализа. Электронно-конформационные взаимодействия в фермент-субстратном ком-

плексе.

Влияние температуры на скорость биологических процессов. Применимость закона Аррениуса к биосистемам. Энергия активации ферментов и ее экспериментальное определение.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА

Предмет и задачи молекулярной биофизики; методы исследования. Биополимеры как основа организации биоструктур; своеобразие строения и функций биологических макромолекул.

Различные типы взаимодействий в полимерах (ковалентные связи, силы Ван-дер-Ваальса, электростатические и гидрофобные взаимодействия, водородные связи), их биофизическая характеристика.

Природа пептидной связи и ее основные свойства. Строение полипептидной цепи, внутреннее вращение и подвижность ее звеньев. Пространственная организация белковой молекулы. Разнообразие вторичных и третичных структур белка; сверхспирали. Соотношение α -спиральных и β -структурных участков в молекуле. Домены в пространственной структуре белков. Роль ковалентных связей и слабых взаимодействий ближнего и дальнего порядка в самоорганизации белковой молекулы; предсказание пространственной структуры белков. Взаимодействие белков с растворителем. Гидратация. Состояние воды в биоструктурах. Фазовые переходы в белках; тепловая и химическая денатурация. Динамические свойства глобулярных белков; взаимодействие статистических и детерминистских факторов, определяющих динамическую подвижность белков. Методы изучения конформационной подвижности белков. Связь конформационной подвижности белковых молекул с их функциональными свойствами.

Особенности структуры и пространственной организации нуклеиновых кислот (НК). Физические модели ДНК. Классификация НК по форме молекулы. Полиморфизм вторичной структуры НК (А, В, С, Z-формы); роль стэкинг-взаимодействий и других факторов в стабилизации пространственной структуры НК. Особенности вторичной и третичной структуры т-РНК. Сверхспиральные структуры ДНК.

Взаимодействие НК с растворителем. Фазовые переходы спираль клубок денатурация и ренатурация НК, факторы денатурации. Качественные и количественные характеристики денатурации. Метод молекулярной гибридизации ДНК, его биологическое значение. Физические свойства НК. Вязкость НК.

Физико-химическая характеристика липидов. Перекисное окисление липидов. Участие липидов в процессах внутриклеточной сигнализации.

БИОФИЗИКА МЕМБРАН

Биомембрана как универсальный компонент биологических систем. Методы исследования биомембран. Развитие представлений о структурной организации мембран. Биофизическая характеристика молекулярных ком-

понентов мембран: белков, липидов, углеводов и их комплексов. Вода как составной компонент биомембран. Свойства связанной воды, методы ее определения. Роль белков в связывании воды биоструктурами. Биомембрана как надмолекулярная структура. Типы межмолекулярных взаимодействий в мембранах, их природа и роль в стабилизации мембранных структур. Основные типы моделей, предложенных в мембранологии для объяснения строения и функционирования мембран. Жидкостно-мозаичная модель, ее основные характеристики. Физические свойства биомембран. Подвижность компонентов биомембраны. Вращательное движение, латеральная и вертикальная диффузия мембранных липидов. Подвижность мембранных белков. Фазовые переходы в мембранах. Жидкие кристаллы в структуре мембран, их свойства. Кооперативные переходы мембран, факторы, инициирующие их (температура, свет, электрическое поле, химические вещества). Понятие о доменной структуре мембран. Функции биологических мембран.

Искусственные мембраны. Монослой на границе раздела фаз. Бислойные липидные мембраны. Липосомы и протеоллипосомы. Механизмы взаимодействия липосом с биомембранами. Свойства искусственных мембран, их сходство и отличия от природных мембран, практическое использование в биологии и медицине.

БИОФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ БИОМЕМБРАНЫ

Проблема проницаемости веществ через биомембраны. Методы исследования проницаемости. Типы транспорта веществ через биомембрану. Пассивный транспорт (диффузия). Движущая сила диффузии. Уравнение диффузии Фика. Зависимость проницаемости мембран от растворимости в воде и липидах. Аквапорины. Проницаемость мембран для воды и нейтральных молекул. Проницаемость мембран для ионов. Факторы, влияющие на скорость пассивного транспорта ионов. Электрохимический потенциал. Механизмы прохождения ионов через мембрану. Ионный транспорт в каналах. Современное представление о строении и функционировании каналов. Селективность каналов. Индуцированный ионный транспорт, его моделирование на липосомах и плоских бислойных липидных мембранах. Ионифоры: подвижные переносчики и каналобразующие вещества.

Облегченная диффузия, ее основные свойства и отличия от простой диффузии. Транслокация радикалов как тип транспорта веществ, его механизмы и роль в доставке в клетку сахаров, аминокислот и других метаболитов.

Активный транспорт молекул и ионов, его отличие от облегченной диффузии. Свойства и функции активного транспорта. Термодинамика активного переноса молекул и ионов. Механизмы активного транспорта. Электрогенный и нейтральный транспорт. Первичный и вторичный активный транспорт. Транспортные АТФ-азы, их краткая характеристика и классификация. Строение и механизм действия Na-K-насоса. Активный транспорт Ca^{2+} и протонов. Модели параллельно функционирующих пассивных и активных каналов.

Специальные механизмы транспорта веществ через биомембрану (эндо- и экзоцитоз, перенос ДНК и др.).

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Краткая история открытия и изучения биоэлектрических явлений. Классификация биопотенциалов. Характеристика ионных и электродных биопотенциалов. Потенциал покоя, его происхождение. Потенциал действия. Современное представление о генерации нервного импульса. Модель Ходжкина-Хаксли. Измерение потенциала действия в нерве. Асимметричное распределение ионов по обе стороны мембраны как основа возникновения биопотенциалов. Факторы, определяющие величину мембранного потенциала. Равновесие Доннана. Транспорт ионов в возбудимых мембранах. Распространение нервного импульса по миелиновым и немиелиновым нервным волокнам. Энергообеспечение процессов распространения возбуждения. Векторный характер передачи электрических сигналов, его механизм. Значение регистрации биопотенциалов для биологии и медицины.

Электрокинетические явления. Образование двойного электрического слоя. Факторы, определяющие величину электрокинетического потенциала. Применение микроэлектродфореза для оценки электрического потенциала мембран клеток в норме и при патологии. Примеры других электрокинетических явлений.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОПРЯЖЕНИЯ

Общая характеристика преобразования энергии в биомембранах. Сопрягающие комплексы, их локализация в митохондриальной и фотосинтетической мембране хлоропластов. Строение и условия функционирования различных цепей переноса электронов (ЦПЭ) в биомембранах. Окислительно-восстановительный потенциал переносчиков электронов, его измерение (уравнение Нернста). Особенности и биологическое значение транспорта электронов. Сходства и отличия ЦПЭ в митохондриях и хлоропластах. Экзэргоническая и эндэргоническая стадии окислительного фосфорилирования, КПД этого процесса. Теории, объясняющие механизм мембранного фосфорилирования. Основные положения теории П.Митчела. Электрохимический потенциал ионов водорода. Состав протонной АТФ-азы. Механизм энергетического сопряжения (образование и гидролиз АТФ). Следствия хемиосмотической теории. Другие переносчики ионов как молекулярные преобразователи энергии, генерирующие АТФ. Обобщенная схема трансформации энергии в клетке.

БИОФИЗИКА СОКРАТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Общая характеристика механохимических процессов. Основные типы сократительных и подвижных систем. Биофизическая характеристика мышечных и немышечных сократительных белков (актина, миозина, тропомиозина, тубу-

лина, флагеллина и др.). Основные свойства поперечно-полосатой мышцы как механохимического преобразователя энергии; структура саркомеров, ее изменение при сокращении. Молекулярный механизм мышечного сокращения, его регуляция. Энергообеспечение мышечного сокращения; значение опытов В.Энгельгардта и М.Любимовой. Теории, объясняющие механизм сокращения. Основные особенности строения немышечных сократительных систем, молекулярный механизм их подвижности.

БИОФИЗИКА ФОТОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Общая характеристика и классификация фотобиологических процессов и их стадий. Применимость законов физики и фотохимии к фотобиологическим процессам. Поглощение света биомолекулами. Закон Ламберта-Бэра. Механизм поглощения света. Закономерности перехода фотоэлектрона на возбужденный уровень. Спектры поглощения биомолекул. Оптические свойства белков и нуклеиновых кислот: поглощение света, оптическая активность, дисперсия оптического вращения, круговой дихроизм, природа гипохромного и гиперхромного эффектов. Пути дезактивации молекул, возбужденных светом. Люминесценция, ее виды и основные физические характеристики: спектры испускания, квантовый выход, длительность свечения. Биолюминесценция и сверхслабое свечение объектов (биохемилюминесценция). Миграция энергии в биосистемах, ее механизмы: индуктивно-резонансный, экситонный, обменно-резонансный, полупроводниковый.

Типы фотохимических реакций; одно- и двухквантовые реакции. Спектры действия фотобиологических процессов.

Биофизика фотосинтеза. Физический смысл фотосинтеза. Превращение энергии в первичных процессах фотосинтеза. Транспорт электронов и фотофосфорилирование. Термодинамика фотосинтеза, квантовый выход и квантовый расход, КПД превращения световой энергии в химическую.

Бактериородопсиновый фотосинтез: физический и биологический смысл, последовательность энергетических превращений, молекулярный механизм.

Фотодеструктивные процессы. Фотохимические реакции при действии ультрафиолетовых излучений на нуклеиновые кислоты. Молекулярные механизмы действия ультрафиолетовых излучений на белки и липиды. Биологическое значение фотоповреждений молекул. Фотосенсибилизация и фотозащита; световая и темновая репарация.

Основные физические характеристики и биологическое действие лазерного излучения. Роль двухквантовых реакций. Лазерные методы исследования.

РЕГУЛЯЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основные понятия теории информации. Связь энтропии и информации в биологических системах. Количество биологической информации, ее ценность. Приложение теории информации к биопроцессам: генетический код, информационная характеристика структуры белков и др. Понятие о биокибернетике. Принципы авторегулирования биологических процессов (положитель-

ная и отрицательная обратная связь, автоколебания, биоритмы). Роль биологических триггеров в регулировании метаболизма.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Рубин А. Б. Биофизика. / А. Б.Рубин. М.: Книжный дом «Университет», 1999–2000. Т. 1-2.
2. Антонов В. Ф. Биофизика / В. Ф. Антонов. М.: Гум. издат. центр «Владос», 2002.
3. Рубин А. Б. Лекции по биофизике / А. Б.Рубин. М.: Изд-во Московского ун-та, 1994.
4. Костюк П. Г. Биофизика / П. Г. Костюк. Киев: Выща школа, 1988.
5. Конев С. В., Вологовский И. Д. Фотобиология / С. В. Конев, И. Д. Вологовский. Мн.: Изд-во Белорусского ун-та, 1979.

Дополнительная:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика / А.Н. Ремизов. М.: Медицина, 1987.
2. Кантор Ч., Шиммель П. Биофизическая химия / Ч.Кантор, П. Шиммель. М.: Мир, 1984-1985. Т.1-3
3. Уильямс В., Уильямс Х. Физическая химия для биологов / В.Уильямс, Х.Уильямс. М.: Мир, 1976.
4. Плонси Р., Барр Р. Биоэлектричество. Количественный подход / Р.Плонси, Р.Барр. М.: Мир, 1992.
5. Зенгер В. Принципы структурной организации нуклеиновых кислот / В.Зенгер. М.: Мир, 1989.
6. Тарусов Б.Н. и др. Биофизика / Б.Н. Тарусов. М.: Высшая школа, 1968.
7. Антонов В.Ф., Коржуев А.В. Физика и биофизика: Курс лекций для студентов медицинских вузов: Учебное пособие / В.Ф. Антонов, А.В. Коржуев. М.: Гум. издат. центр «Владос» 2004.
8. Артюхов В.Г. Биофизика / В.Г.Артюхов, В.П. Шмелева, Шмелев. - Изд. Воронежского университета, 1994 г.
9. Журавлев А.Н. Основы физики и биофизики. Серия: Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений / А.Н Журавлев. М.: Гум. издат. центр «Владос», 2005.
10. www.biophys.msu.ru
11. <http://bio-phys.narod.ru>