

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Каримова Ш.Ф., Юлдашев Н.М., Рашидова Д.А., И.А.Ишигов

БИОХИМИЯ

**Учебник
(по предмету биохимия)**

**для студентов 1 курса медицинских вузов
по направлению образования:**

Область знаний: 900 000 – Здравоохранение и социальное обеспечение

Область образования: 910 000 – Здравоохранение

Направление образования: 60910600 – Высшее сестринское дело

ТАШКЕНТ 2026 год

Рекомендовано методическим советом ТашГМУ в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам бакалавриата и специалитета по направлениям подготовки биохимия.

Составители:

Кандидат биологических наук, доцент кафедры
медицинской и биологической химии, медицинской
биологии, биофизики и медицинской
информатики ТашГМУ

Ш.Ф. Каримова

Доктор биологических наук, заведующий кафедрой
медицинской и биологической химии, медицинской
биологии, биофизики и медицинской
информатики ТашГМУ, профессор

Н.М. Юлдашев

Кандидат медицинских наук (PhD) , ассистент кафедры
медицинской и биологической химии, медицинской
биологии, биофизики и медицинской
информатики ТашГМУ

Д.А.Рашидова

Доктор биологических наук, профессор
кафедры Фундаментальные науки Медицинского
факультета Международного казахско-турецкого
университета имени Х.А. Яссави
(Республика Казахстан)

И.А.Ишигов

Рецензенты:

Доцент кафедры медицинской и биологической
химии ТашГМУ, д.м.н.

Д.М.Азизова

Доктор биологических наук, профессор кафедры
биохимии, НУУ имени Мирзо Улугбека

М.М.Абдуллаева

Содержание

ГЛАВА	Название главы	Страницы
	Содержание	
1	ИСТОРИЯ БИОХИМИИ	
2	БИОХИМИЯ БЕЛКОВ - Общая характеристика белков функции белков - Аминокислотный состав белков - Структурная организация белков - Физико-химические свойства белков - Классификация белков - Белки крови	
3	БИОХИМИЯ ФЕРМЕНТОВ - Химическая природа ферментов - Строение ферментов - Активный центр фермента: строение и функции - Этапы ферментативного катализа - Специфичность ферментов - Свойства ферментов - Классификация ферментов - Основные механизмы регуляции - Ингибирование ферментов - Клиническая энзимология	
4	БИОХИМИЯ ВИТАМИНОВ - КЛАССИФИКАЦИЯ ВИТАМИНОВ Жирорастворимые витамины - Витамин А - Витамин D - Витамин Е - Витамин К - Витамин F Водорастворимые витамины - Витамин С - Витамин В1 - Витамин В2 - Витамин РР - Витамин В5 - Витамин В6 - Витамин В7	

	- Витамин В9 - Витамин В12 Витаминоподобные вещества Антивитамины	
5	БИОХИМИЯ МОЛОКА - Лактация - Молозиво - Состав зрелого молока - Белки - Жиры - Углеводы - Минеральные вещества - Витамины - Ферменты - Защитные факторы молока	
6	ВВЕДЕНИЕ В ОБМЕН ВЕЩЕСТВ - Состав пищи человека: основные и минорные компоненты - Обмен веществ - Иерархия регуляторных систем - Методы изучения обмена веществ	
7	ОБМЕН И ФУНКЦИИ УГЛЕВОДОВ - Классификация углеводов - Переваривание углеводов - Обмен гликогена - Гликогеновые болезни - Сахарный диабет	
8	ОБМЕН И ФУНКЦИИ ЛИПИДОВ - Классификация липидов - Переваривание липидов - Всасывание липидов в кишечнике - Липопротеин - Липотропные вещества	
9	ОБМЕН И ФУНКЦИИ АМИНОКИСЛОТ - Источники и обмен свободных аминокислот в организме - Динамика белкового обмена - Азотистый баланс - Нормы белкового питания - Переваривание белков - Внутриклеточный обмен аминокислот	

	- Пути детоксикации аммиака, Синтез мочевины (орнитиновый цикл) - Оротоцидурия - Подагра	
10	БИОХИМИЯ КРОВИ - Общие и специфические свойства крови - Химический состав крови - Белки плазмы крови - Ферменты плазмы крови - Небелковые азотистые компоненты крови - Безазотистые органические компоненты крови - Минеральные компоненты плазмы крови	
11	ПОЧКИ И МОЧА - Вода и роль почек в организме - Строение почек - Механизм мочеобразования - Общие свойства мочи в норме и при патологии - Химический состав мочи в норме и патологии - Некоторые особенности обмена веществ в почечной ткани в норме и при патологии	
12	БИОХИМИЯ ПЕЧЕНИ - Функции печени - Химический состав печени - Роль печени в углеводном обмене - Роль печени в липидном обмене - Роль печени в обмене аминокислот и белков - Обезвреживающая функция печени - Катаболизм гема, желтушность	
	Глоссарий	
	Список литературы	

Предисловие

Биохимия — это фундаментальная наука, которая служит связующим звеном между химией и медициной, помогая понять сложные процессы, происходящие в организме человека. Учебник «Основы биохимии для медсестер» создан с учетом потребностей будущих средних медицинских работников, предлагая доступное и практическое изложение ключевых биохимических процессов. Предлагаемый учебник подготовлен в рамках дисциплины «Биохимия» в соответствии с государственным образовательным стандартом профессионального образования для студентов 1-го курса, обучающихся по основным профессионально-образовательным программам «Высшее сестринское дело». В учебнике вы найдете теоретическую информацию, а также тестовые задания о структуре и функции ферментов, витаминов, белков, углеводов, липидов, о биохимии печени, почек и мочи, а также о составе и значении женского молока,

Учебник предназначен для обучения, контроля и самоконтроля знаний студентов, способствует формированию медицинских сестер профессиональных компетенций, выявлению взаимосвязей между различными дисциплинами, изучаемыми в медицинских вузах.

Для среднего медицинского персонала знание биохимии важно, поскольку оно позволяет глубже осмыслить механизмы заболеваний, действие лекарственных препаратов и роль биомолекул в поддержании здоровья. Мы полагаем, что, знания основ биохимии преобразуют работу медсестры из разряда простого выполнения медицинских процедур в область осознанной, профессиональной деятельности, где каждое действие имеет научное обоснование и напрямую влияет на качество диагностики и лечения пациента.

Мы с благодарностью отмечаем здесь литературные источники, которые были использованы и которые можно рекомендовать студентам для дополнительного изучения

Книга «Основы биохимии для медсестер» рассчитана прежде всего на студентов медицинских институтов по направлению сестринского дела, однако и студенты других направлений, и даже практикующие врачи, возможно, посчитают эту книгу полезной для себя.

Содержание и объем практикума отвечают количеству часов, отведенных на изучение курса биохимии студентами медицинских институтов.

Глава 1

История развития биохимии.

История биохимии — это история происхождения жизни на земле. Поэтому именно биохимия явилась ареной ожесточенной борьбы двух противоположных мировоззрений — материализма и идеализма в науке. Именно биохимия неопровержимыми доказательствами очищала биологическую науку от идеалистической шелухи.

Биохимия — наука, изучающая химические процессы в живых организмах. Её развитие тесно связано с химией, биологией и медициной. История биохимии делится на несколько ключевых этапов.

1. Донаучный период (до XVII века)

- **Античность и Средневековье:** Люди наблюдали за брожением, пищеварением и другими биологическими процессами, но не понимали их химической природы.
- **Алхимия:** Попытки найти "эликсир жизни" и изучение веществ растительного и животного происхождения.

2. Зарождение научной биохимии (XVII–XIX века)

XVII век:

- Антони ван Левенгук открыл микроскоп, что позволило изучать клетки. Ян Баптист ван Гельмонт исследовал процессы дыхания и питания растений.

XVIII век:

- Джозеф Пристли и Антуан Лавуазье изучали дыхание и фотосинтез, открыв роль кислорода.

XIX век:

- **Фридрих Вёлер (1828)** синтезировал мочевины из неорганических веществ, опровергнув витализм (идею о "жизненной силе").
- **Луи Пастер (1859 по 1864 годы)** исследовал ферментацию и доказал роль микроорганизмов. Опроверг теорию самозарождения, доказав, что микроорганизмы попадают в жидкости из окружающей среды. Показал, что процессы брожения (например, вине и пиве) вызываются живыми микроорганизмами, а не химическими реакциями.
- **Эдуард Бухнер (1897)** открыл ферменты, показав, что брожение может происходить вне клетки.
- Развитие органической химии (Ю. Либих, М. Бертелло) позволило изучать структуру биомолекул.

3. Становление биохимии как науки (XX век)

- **1900–1930-е:**
 - Открытие витаминов (Казимир Функ, 1912).
 - Исследование ферментов (Леонир Михаэлис, Мауд Ментен, 1913).
 - Открытие гормонов (Фредерик Бантинг, инсулин, 1921).
- **1940–1960-е:**
 - Расшифровка метаболических путей (цикл Кребса, 1937; гликолиз).
 - Открытие структуры ДНК (Уотсон и Крик, 1953).
 - Развитие молекулярной биологии.
- **1970–2000-е:**

- Появление генной инженерии (П. Берг, 1972).
- Расшифровка геномов (проект "Геном человека", 2003).
- Развитие биоинформатики и структурной биохимии.

Современная биохимия (XXI век)

- Изучение протеомики, метаболомики, синтетической биологии.
- Разработка биофармацевтических препаратов (терапия моноклональными антителами, CRISPR-Cas9).
- Исследования в области нанобиотехнологий и искусственных клеток.

Биохимия прошла путь от алхимических представлений до высокотехнологичной науки, играющей ключевую роль в медицине, биотехнологиях и генетике. Её развитие продолжается, открывая новые горизонты в понимании жизни.

Вклад биохимиков Узбекистана в развитие биохимии.

Узбекистан имеет богатые научные традиции в области биохимии, связанные с изучением биоактивных веществ растений, ферментов, молекулярной биологии и медицины. Вклад учёных республики особенно значим в исследовании природных соединений, биохимии микроорганизмов и разработке биотехнологий.

В развитии науки отечественные ученые всегда стояли в первых рядах. Я. Х. Туракулов — один из основоположников **биохимии и молекулярной медицины в Узбекистане**. Его работы способствовали развитию не только фундаментальной науки, но и практической медицины. Исследования в области **ферментов, гормонов и радиационной биохимии** остаются актуальными и сегодня. Его стараниями в 1970 г. был основан Институт биохимии АН РУз (ныне Институт биохимии и биоорганической химии им. А.С. Садыкова). Я.Х. Туракулов организовал одно из первых в Узбекистане направлений по изучению влияния радиации

на биохимические процессы, кафедру биохимии в Ташкентском государственном медицинском институте, он сформировал мощные **научные школы**, которые легли в основу многих современных исследовательских центров Узбекистана. Наряду с Я.Х. Туракуловым ключевой вклад в развитие биохимической школы в Узбекистане внес Т. С. Саатов – современный узбекский ученый-биохимик, академик АН Уз, известный своими исследованиями в области молекулярной биологии, нанобиологии и биотехнологии. Его работы посвящены изучению структуры и функций белков, ферментов и нуклеиновых кислот, а также их применению в медицине и сельском хозяйстве. Большой вклад в развитие биохимии в Узбекистане внесли также Садыков А.С. (1913–1987), Хамид Халматов (1921–2008), Абдусаттар Абдураимов (1930–2013), Хамидов Д.Х. и многие другие.

Глава 2

БЕЛКИ

Общая характеристика белков

«Белки — это архитекторы жизни, строящие ее молекулярные структуры и направляющие биохимические процессы.»

Франсис Крик

Из органических веществ, входящих в состав живых организмов, наиболее важными в биологическом отношении и наиболее сложными по своей структуре являются белки. С ними мы встречаемся всюду, где имеет место проявление жизни.

Белки, или протеины (от греч. *protos* — первый, главный), представляют собой сложные органические соединения, обладающие высокой молекулярной массой и содержащие азот. Их молекулы состоят из аминокислотных остатков, соединенных в цепи, и формируют основу структуры и функционирования живых организмов.

Эти биомолекулы являются незаменимыми элементами жизни, играя ключевую роль в процессах метаболизма, регуляции и передачи сигналов. По оценкам, в природе насчитывается от 10^{10} до 10^{12} различных белков, обеспечивающих жизнедеятельность приблизительно 10^6 видов организмов — от вирусов до человека, демонстрируя их универсальную значимость и исключительное биологическое разнообразие.

При химическом анализе белков были определены важнейшие элементы, входящие в их состав, и их количественные соотношения.

Элементарный состав белков в процентах следующий: углерод — 50-54,4%, водород — 6,5-7,3%, кислород — 21,5-23,5%, азот — 15- 17%, сера — 0,3-2,5%.

В составе белков обнаружены также фосфор, йод, железо и другие минеральные вещества.

Как было установлено, наибольшим постоянством в составе белка отличается азот, количество которого составляет в среднем 16%, поэтому было предложено определить содержание белка по количеству входящего в него азота по следующей формуле:

Количество азота $\times 6,25$ г = кол-во белка в %, где 6,25 г белка соответствует 1 г азота.

ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

Белки выполняют множество важнейших функций, необходимых для жизнедеятельности организмов. Эти биологические функции демонстрируют исключительную роль белков в поддержании жизни и регулирующих механизмах организма.

- **Питательная или резервная функция:** Резервные белки служат источником питательных веществ для развития организма. Например, овальбумины в яйце обеспечивают питание зародыша, а казеин, являющийся основным белком молока, играет важную роль в питании и росте.
- **Защитная функция:** Иммунная система использует белки-антитела для распознавания и нейтрализации чужеродных веществ, таких как бактерии, вирусы и токсины.

- **Каталитическая функция:** Белки, которые называются ферментами, способны ускорять биохимические реакции, происходящие в клетке, — в этом заключается каталитическая функция белков.
- **Структурная или пластическая функция:** Белки, участвующие в формировании и поддержании структуры тканей, являются наиболее распространенными в организме человека. Фибриллярные белки, такие как коллаген (в соединительной ткани), кератин (в волосах, ногтях, коже) и эластин (в стенках сосудов), обеспечивают прочность и эластичность тканей. Кроме того, белковые комплексы в сочетании с липидами участвуют в создании клеточных мембран.
- **Транспортная функция:** Белки участвуют в переносе различных веществ в организме. Так, гемоглобин транспортирует кислород, а альбумины сыворотки крови участвуют в перемещении липидов, микроэлементов и витаминов, доставляя их к нужным органам.
- **Гормональная или регуляторная функция:** Многие гормоны, такие как гормоны гипофиза и поджелудочной железы, являются белками или полипептидами, а некоторые представляют собой производные аминокислот. Белки играют роль в регуляции и согласовании обмена веществ в различных клетках организма. Например, инсулин регулирует уровень глюкозы в крови, а также увеличивает образование жиров из углеводов.
- **Сократительная или двигательная функция:** Движение и сокращение клеток и тканей обеспечиваются специфическими белками, такими как актин и миозин, играющими главную роль в сокращении мышц.
- **Сигнальная функция:** В поверхность мембраны клетки встроены рецепторы (молекулы белков), которые в ответ на воздействие внешней среды способны изменять свою структуру, передавая команды в клетку.

- **Энергетическая функция:** Белки могут распадаться в клетке до составляющих, то есть до аминокислот. Часть этих аминокислот подвергается расщеплению, в ходе которого высвобождается энергия. При расщеплении 1 грамма белка выделяется 17,6 кДж, или 4,2 ккал, энергии. Но в этой роли белки используются крайне редко.
- **Функция антифриза:** Антифризные белки способны понижать температуру замерзания раствора в клетках, чтобы предупредить замерзание в условиях низких температур.

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКОВ

В состав белков живых организмов входит только 20 типов аминокислот. Все они являются альфа-аминокислотами, а состав белка и порядок соединения аминокислот друг с другом определяется индивидуальным генетическим кодом. Аминокислоты являются строительными блоками белковых молекул.

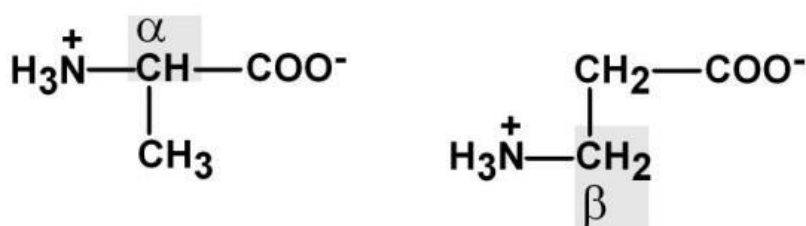
В строении аминокислоты можно выделить две функциональные группы: карбоксильную (—COOH), которая отвечает за кислотные свойства, и аминогруппу (—NH_2), которая, в свою очередь, отвечает за основные свойства. Отсюда можно сделать вывод, что все аминокислоты являются амфотерными соединениями и способны реагировать друг с другом по разным функциональным группам с образованием пептидной связи.

Из-за разнообразного строения и свойств классификация аминокислот может быть и в зависимости от выбранного качества аминокислот. В таком случае аминокислоты делятся:

1. В зависимости от положения аминогруппы.
2. По абсолютной конфигурации молекулы.
3. По оптической активности.
4. По участию аминокислот в синтезе белков.

5. По строению бокового радикала.
6. По кислотно-основным свойствам.
7. По необходимости для организма.

1. В зависимости от положения аминогруппы выделяют альфа (α), бета (β), гамма (γ) и другие аминокислоты. Для организма млекопитающих наиболее характерны α -аминокислоты.



2. По абсолютной конфигурации аминокислоты делят на D- и L-формы, для млекопитающих это L-аминокислоты (Таб.1).
3. По оптической активности аминокислоты делятся на право- и левовращающие.

Таблица 1.

Тип	Описание	Биологическая роль
L-аминокислоты	Преобладают в белках живых организмов	Входят в состав белков
D-аминокислоты	Редкие, встречаются в клеточных стенках бактерий и антибиотиках	Участвуют в специфических функциях, например, в пептидогликанах

4. По участию аминокислот в синтезе белков аминокислоты делятся на две основные группы:

1. Протеиногенные аминокислоты. Это аминокислоты, которые входят в состав белков и кодируются генетическим кодом.

- Всего таких аминокислот — 20 стандартных.
- Они участвуют в трансляции на рибосомах, соединяясь в полипептидные цепи.

Примеры: Аланин, Лейцин, Серин, Глицин, Аргинин, Тирозин и др.

2. Непротеиногенные аминокислоты

Это аминокислоты, которые не входят в состав белков, но выполняют другие важные функции.

- Могут быть промежуточными продуктами метаболизма или участвовать в биосинтезе других соединений.

Примеры:

- Орнитин и цитруллин — участвуют в мочевином цикле
- Гомоцистеин — важен в метаболизме метионина
- ГАМК (γ -аминомасляная кислота) — нейромедиатор

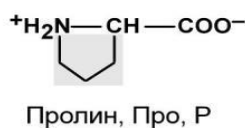
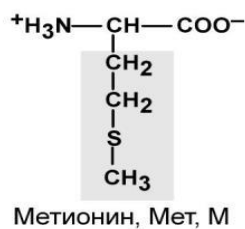
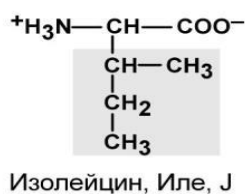
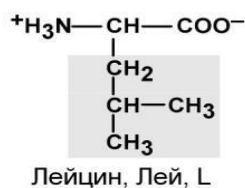
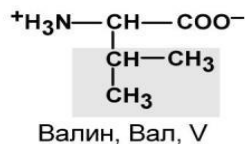
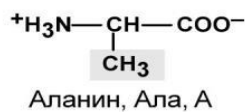
5. По строению бокового радикала аминокислоты делятся на 5 классов (рис. 1):

Различают аминокислот, содержащих следующие радикалы: 1) неполярные (гидрофобные); 2) полярные (гидрофильные); 3) ароматические; 4) отрицательно заряженные и 5) положительно заряженные.

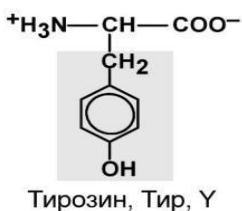
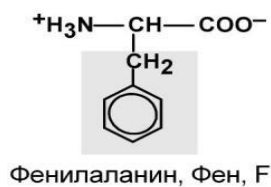
1. Нейтральные неполярные (гидрофобные):

- Радикалы — углеводородные цепи или кольца
- Примеры: Аланин, Валин, Лейцин, Изолейцин, Фенилаланин, Метионин, Пролин

Неполярные
Алифатические

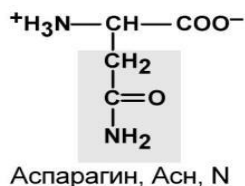
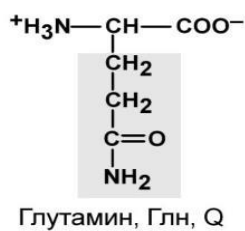
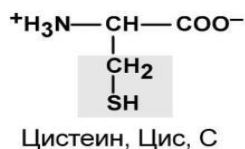
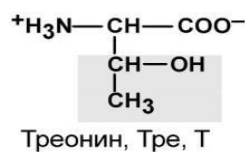
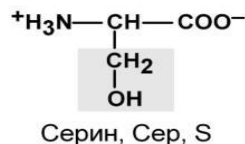
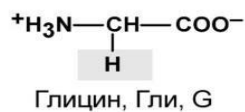


Ароматические

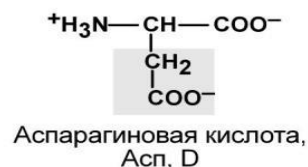
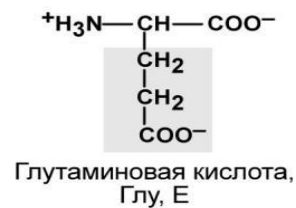


Полярные

Незаряженные



Отрицательно заряженные



Положительно заряженные

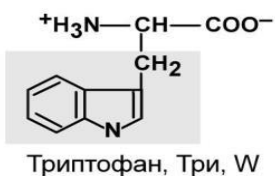
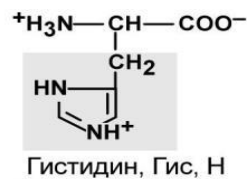
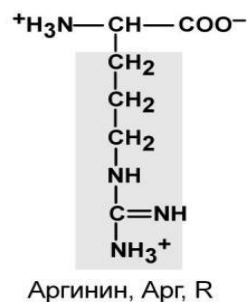
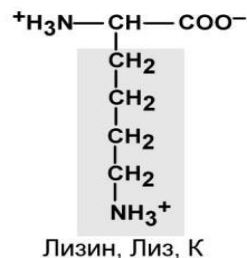


Рис. 1. Структура протеиногенных аминокислот.

Нейтральные полярные (гидрофильные):

- Радикалы — содержат гидроксильные, амидные или тиольные группы
- Примеры: Серин, Треонин, Аспарагин, Глутамин, Цистеин, Тирозин

3. Кислотные (с отрицательно заряженной R-группой):

- Радикалы — карбоксильные группы
- Примеры: Аспарагиновая кислота, Глутаминовая кислота

4. Основные (с положительно заряженной R-группой):

- Радикалы — аминогруппы
- Примеры: Лизин, Аргинин, Гистидин

5. Ароматические:

Радикалы — ароматические кольца

- Примеры: Фенилаланин, Тирозин, Триптофан

6. Серосодержащие:

- Радикалы — содержат атом серы
- Примеры: Цистеин, Метионин

7. Иминокислоты:

- Радикал соединён с аминогруппой и α -углеродом одновременно
- Пример: Пролин

6. По кислотно-основным свойствам аминокислоты классифицируются в зависимости от характера их бокового радикала (R-группы) — способен ли он отдавать или принимать протоны (H^+) при физиологическом pH.

Нейтральные аминокислоты:

- Не имеют заряда при физиологическом pH (около 7,4).
- Их радикалы не диссоциируют.
- Примеры: Аланин, Валин, Лейцин, Изолейцин, Фенилаланин, Метионин, Пролин

Кислотные аминокислоты:

- Имеют дополнительную карбоксильную группу в радикале, которая диссоциирует и придаёт отрицательный заряд.
- Примеры:
- Аспарагиновая кислота (Asp, D)
- Глутаминовая кислота (Glu, E)

Основные аминокислоты:

- Имеют дополнительную аминогруппу или имидазольное кольцо, способные принимать протон, придавая положительный заряд.
- Примеры:
- Лизин (Lys), Аргинин (Arg), Гистидин (His) — может быть нейтральным или положительно заряженным в зависимости от pH.

Кислотно-основные свойства аминокислот влияют на заряд белков, их растворимость, взаимодействие с другими молекулами, а также на каталитическую активность ферментов.

7. По необходимости для организма выделяют незаменимые (лейцин, изолейцин, валин, фенилаланин, триптофан, треонин, лизин, метионин) и **заменимые** (аланин, аспартат, аспарагин, глицин, серин, пролин, глутамат и глутамин). **Частично заменимыми** (Арг, Гис), т.е. их синтез происходит в недостаточном количестве. Две аминокислоты являются **условно заменимыми** (тирозин и цистеин), т.е. их синтез зависит от поступления с пищей их предшественников: тирозин синтезируется из фенилаланина и цистеин из метионина.

Пептидная связь

Э. Фишер (1902) сформулировал полипептидную теорию строения. Согласно этой теории, белки представляют собой сложные полипептиды, в которых отдельные аминокислоты связаны друг с другом пептидными связями.

Пептидная связь — это связь между альфа-карбоксильной группой одной аминокислоты и альфа-аминогруппой другой аминокислоты (рис. 2).

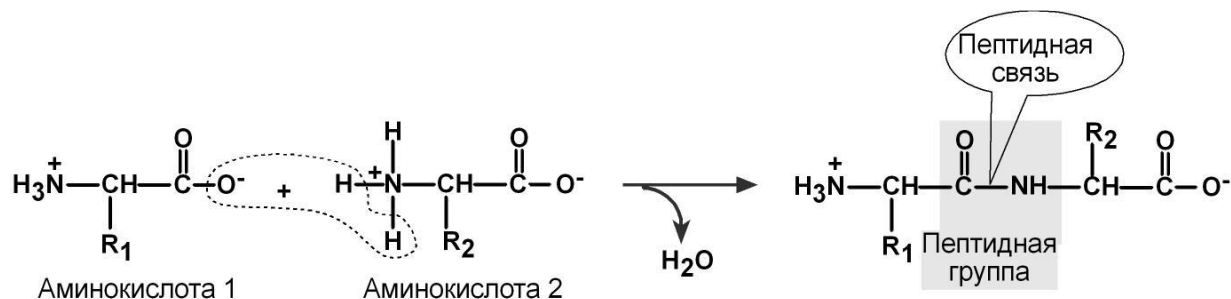


Рис. 2. Образование пептидной связи.

Белки относятся к высокомолекулярным соединениям, в состав которых входят сотни и даже тысячи аминокислотных остатков, объединенных в макромолекулярную структуру. Молекулярная масса белков колеблется от 6000 (нижний предел) до 1000000 и выше в зависимости от количества отдельных полипептидных цепей в составе белка.

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЛКОВ

Структурная организация белков включает **четыре уровня** (рис. 3), каждый из которых определяет форму и функции белковой молекулы (таб. 2):

1. **Первичная структура** — последовательность аминокислот, соединённых пептидными связями. Она определяет свойства и функции белка. Первичная структура белков задается последовательностью нуклеотидов в ДНК. Выпадение, вставка, замена нуклеотида приводит к изменению аминокислотного состава и, следовательно, структуры синтезируемого белка. Например, при

серповидноклеточной анемии в 6-ом положении бета-цепи гемоглобина происходит замена глутаминовой аминокислоты на валин. Это приводит к синтезу HbS – такого гемоглобина, который после отдачи кислорода полимеризуется и образует кристаллы. В результате эритроциты деформируются, приобретают форму серпа (банана), теряют эластичность и при прохождении через капилляры разрушаются. Это в итоге приводит к анемии, снижению оксигенации тканей и их некрозу. В организме человека обнаружено около 100 тысяч различных белков. Последовательность и соотношение аминокислот в первичной структуре определяет формирование вторичной, третичной и четвертичной структур.

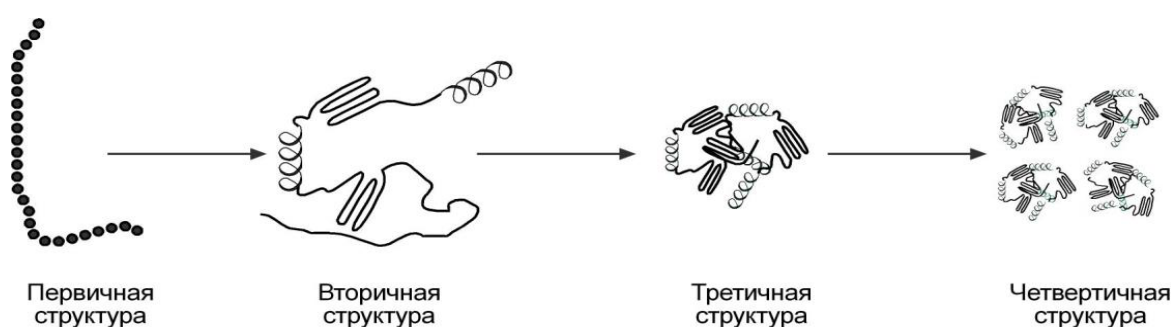


Рис. 3. Схема последовательности укладки белков в четвертичную структуру.

2. **Вторичная структура** – пространственная организация полипептидной цепи, например, **альфа-спираль** или **бета-складчатый слой**. Формируется за счёт водородных связей: атом кислорода одной группы реагирует с атомом водорода следующей, одновременно кислород этой пептидной группы связывается с водородом еще одной и т.д. В глобулярных белках преобладает альфа-спираль, в фибриллярных – бета-складчатый слой.

3. **Третичная структура** – трёхмерная форма белка, образующаяся благодаря взаимодействию между боковыми группами аминокислот. Благодаря третичной структуре происходит еще более компактное формирование цепи. Наряду с альфа-спиралью и бета-структурой в третичной структуре обнаруживается так называемая неупорядоченная конформация- беспорядочный клубок. Третичная структура определяет биологическую активность белка. Формируется за счёт помимо ковалентных связей (пептидные и дисульфидные связи), так называемых нековалентных связей. К этим связям относятся водородные связи, электростатические взаимодействия заряженных групп, межмолекулярные вандерваальсовы силы, гидрофобные взаимодействия, ионные связи (рис. 4).

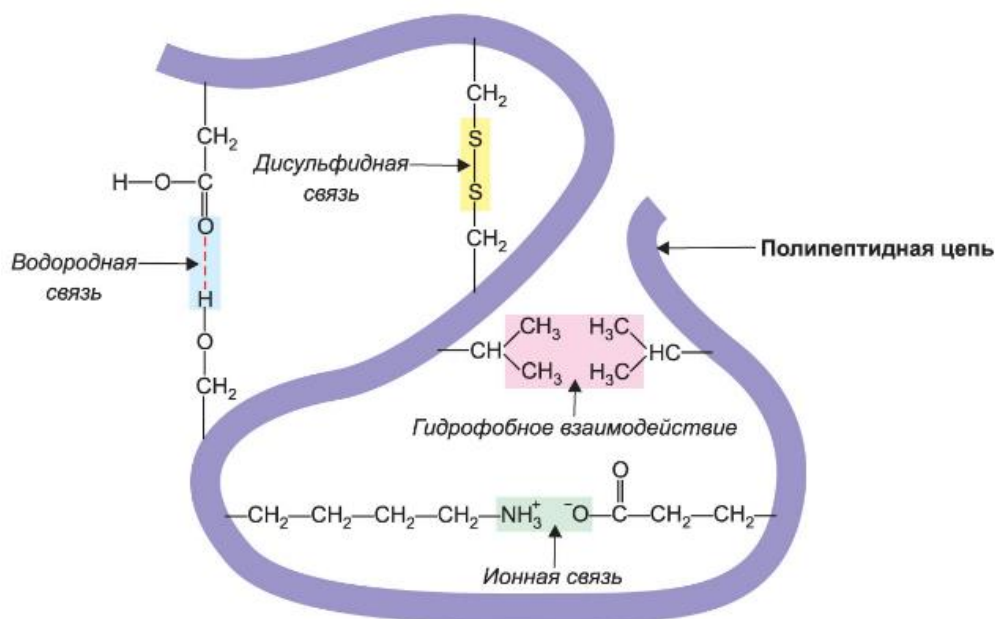


Рис. 4. Связи, стабилизирующие третичную структуру белка.

4. **Четвертичная структура** – объединение нескольких белковых молекул в единую функциональную единицу, например, гемоглобин, лактатдегидрогеназа и др.

Характерную четвертичную структуру имеет гемоглобин (рис. 5) – белок эритроцитов, переносящий кислород, состоит из 4 гемсодержащих субъединиц – 2 α -субъединицы и 2 β -субъединицы в гемоглобине взрослых (Hb-A), 2 α -субъединицы и 2 δ -субъединицы в гемоглобине взрослых (Hb-A₂), 2 α -субъединицы и 2 γ -субъединицы в фетальном гемоглобине (Hb-F). Такие молекулы стабилизируются водородными связями, ионными и электростатическими взаимодействиями между остатками аминокислот.

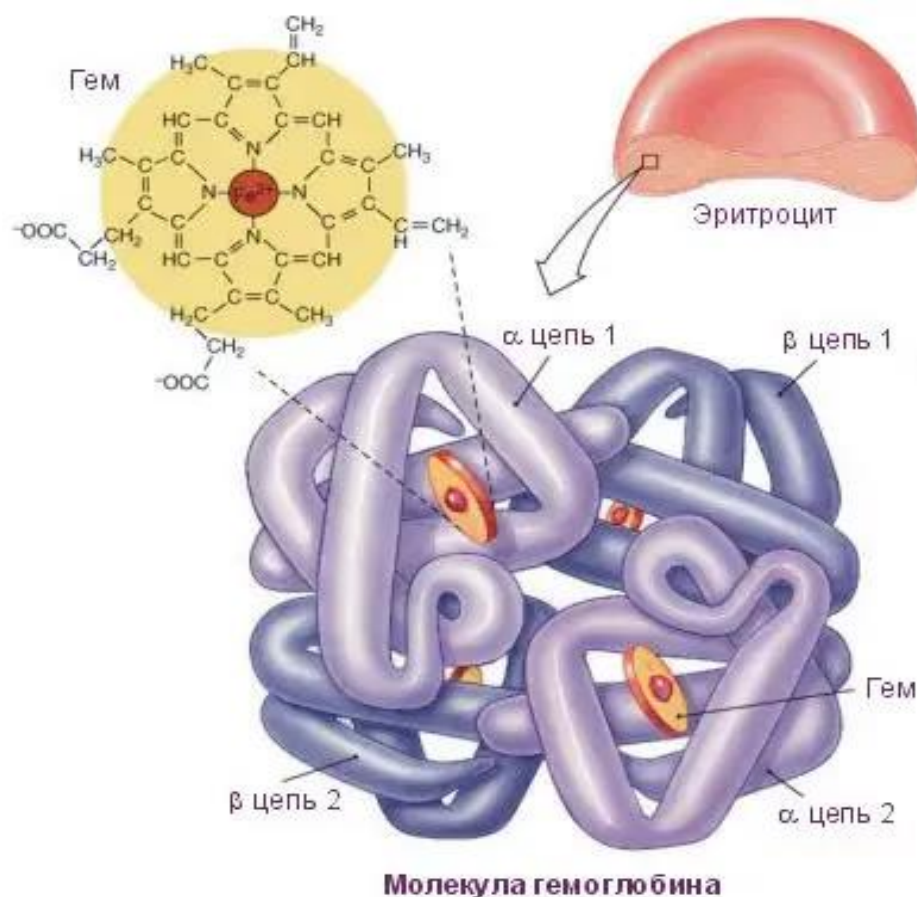
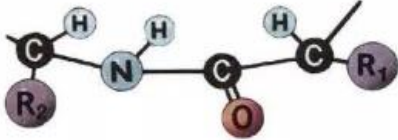
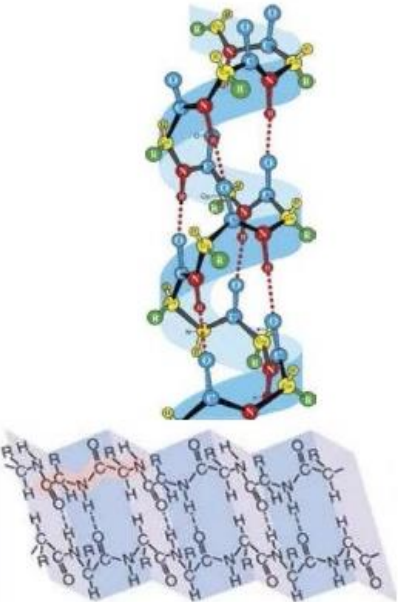


Рис. 5.

Таблица 2.

Уровни структурной организации белков

Название структуры	Пространственная структура	Химические связи, поддерживающие структуру
первичная	линейная 	пептидные
вторичная	спиральная 	водородные
третичная (белок проявляет биологическую активность)	глобула (клубок) 	- дисульфидные связи между остатками цистеина; - водородные; - гидрофобные; - ионные
четвертичная (у некоторых белков)	соединение нескольких глобул	- водородные; - гидрофобные; - ионные

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВ

Денатурация белков

Денатурация — это разрушение природной структуры белка (вторичной, третичной и четвертичной), но без разрушения его первичной структуры (то есть последовательность аминокислот остаётся неизменной).

Причины денатурации:

- **Физические факторы** – высокая температура, радиация.
- **Химические факторы** – воздействие кислот, щелочей, органических растворителей.
- **Механическое воздействие** – сильное перемешивание или давление.

Этот процесс может **привести к потере биологической активности** белка. Например, при нагревании яичного белка его структура изменяется, и он становится твёрдым.

Денатурация белка может быть **обратимой** или **необратимой**, в зависимости от того, сохраняется ли возможность восстановления его структуры и функции.

Обратимая денатурация

Некоторые белки после денатурации могут возвращаться к своей природной (нативной) структуре, если устраняются факторы, вызвавшие изменения. Пример:

- **Рибонуклеаза** – белок, способный полностью восстановить свою структуру после удаления химических агентов (например, мочевины).

- **Некоторые ферменты** – если денатурация была слабой, могут возвращаться к активному состоянию.

Необратимая денатурация

Если структура белка разрушена **настолько сильно**, что он уже не может вернуться в исходное состояние, то денатурация считается необратимой. Пример:

- **Белок яичного белка** – после термической обработки (варка, жарка) он меняет свою структуру **навсегда**.
- **Кератин волос** – после сильного нагрева (например, горячего утюжка) изменённая структура не восстанавливается полностью.

Необратимая денатурация часто приводит к **потере функции** белка, что может быть критическим для клеточных процессов.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЛКОВ

1. По форме молекулы делят на:

Глобулярные – характеризуются компактной округлой укладкой полипептидных цепей. Например, инсулин, альбумин, глобулины плазмы крови.

Фибриллярные – состоят из пучков полипептидных цепей, спиралью навитых друг на друга и связанные между собой поперечными ковалентными и водородными связями. Выполняют защитную и структурную функции. Например, кератин волос, миозин мышц, коллаген соединительной ткани.

2. В зависимости от химического состава делят на простые и сложные белки.

Простые белки построены из остатков аминокислот и при гидролизе распадаются на свободные аминокислоты. К ним относятся альбумины, глобулины, гистоны, протамины, проламины, глютелины, коллаген, эластин и др.

Сложные белки кроме белковой цепи, имеют дополнительную небелковую группу. При гидролизе сложных белков, помимо свободных аминокислот, освобождается небелковая часть. Классификация их зависит от химической природы входящего в их состав небелкового компонента. В соответствии с этим различают фосфопротеины (содержат фосфорную кислоту), например белок молока казеин; хромопротеины (в состав их входят пигменты), например гемоглобин – переносчик кислорода в крови и миоглобин – переносчик кислорода в мышцах; нуклеопротеины (содержат нуклеиновые кислоты), например хромосомы в которых сосредоточена бóльшая часть наследственной информации; гликопротеины (содержат углеводы), например трансферрин, фибриноген, иммуноглобулины, некоторые гормоны и ферменты: трансферрин, например, участвует в транспорте железа в организме, фибриноген играет ключевую роль в свёртывании крови, а иммуноглобулины обеспечивают иммунный ответ организма на инфекции; липопротеины (содержат липиды); металлопротеины (содержат металлы) например ферритин (депо [железа](#) в [организме](#)).

Оценка состояния белкового обмена и выявления основных причин нарушения переваривания и усвоения белка.

- **Первичный дефицит** белка, как правило, обусловлен алиментарными факторами: несбалансированным питанием и недостаточным поступлением белка с пищей.

• **Вторичный дефицит** белка может быть связан с различными заболеваниями органов ЖКТ (гастрит с пониженной кислотностью, ферментативная недостаточность поджелудочной железы, нарушения функции печени, воспалительные процессы в кишечнике), патологией почек, наследственными нарушениями обмена белков, инфекционными заболеваниями, хроническим стрессом.

Белки крови

Общее количество белка в плазме крови в норме составляет 70–90% (60–80) г/л. К белкам крови относятся:

- альбумины 35-45 г/л
- глобулины 20-35 г/л
- фибриноген 3-5 г/л

Повышение общего количества белка в плазме крови называется **гиперпротеинемия**, снижение — **гипопротеинемия**.

Гиперпротеинемия возникает при дегидратации (относительная) и при травмах, ожогах, миеломной болезни (абсолютная).

Гипопротеинемия наступает при спаде отёков (относительная) и при голодании, патологии печени, почек, кровопотере (абсолютная).

Диспротеинемия — изменение процентного соотношения белковых фракций на фоне нормального содержания общего белка в плазме крови, например, снижение содержания альбуминов и увеличение содержания одной или нескольких глобулиновых фракций.

Парапротеинемия — это патологическое состояние, характеризующееся увеличением уровня парапротеинов в крови. Парапротеины представляют собой аномальные белки, вырабатываемые опухолевыми клетками плазматических клеток, которые находятся в костном мозге. Эти белки, как правило, не обладают никакими полезными функциями и могут вызывать ряд серьезных нарушений в

организме. Наличие повышенного количества парапротеинов может негативно сказываться на различных системах и органах, что приводит к развитию множества клинических проявлений. К таким белкам относятся, например, криоглобулины, α -фетоглобулин, карциноэмбриональный антиген.

Особенности количества белковых фракций у детей

- У новорожденных содержание общего белка в сыворотке крови значительно ниже, чем у взрослых, и становится минимальным к концу первого месяца жизни (до 48 г/л). Ко второму – третьему годам жизни общий белок повышается до уровня взрослых.
- В течение первых месяцев жизни концентрация глобулиновых фракций низка, что приводит к относительной гиперальбуминемии до 66–76 %. В периоде между 2-м и 12-м месяцами концентрация α_2 -глобулинов временно превышает взрослый уровень.
- Количество фибриногена при рождении гораздо ниже, чем у взрослых (около 2,0 г/л), но к концу первого месяца достигает обычной нормы (4,0 г/л).

Почему знания о белках важны для медицинской сестры?



Знания о белках абсолютно необходимы медицинской сестре для качественного выполнения профессиональных обязанностей. Это практическая основа для ежедневного ухода за пациентами, понимания их состояния и эффективного взаимодействия с врачебными назначениями.

Вот ключевые аспекты, для чего медсестре нужны эти знания:

1. Оценка нутритивного (пищевого) статуса пациента

Белки — главный строительный материал и индикатор состояния питания.

Гипопротеинемия (низкий белок в крови): Медсестра должна распознать признаки дефицита белка: отеки (из-за снижения онкотического давления), слабость, медленное заживление ран, сухость кожи. Это часто встречается у:

- Послеоперационных пациентов.
- Людей с ожогами.
- Пациентов с заболеваниями ЖКТ (нарушение всасывания).
- Пожилых и истощенных больных.

Действия медсестры: Контроль за соблюдением диеты, богатой белком, ведение пищевого дневника, помощь в кормлении, информирование врача о проблемах с питанием.

2. Понимание патологических процессов и диагностики

Изменение уровня специфических белков в крови — важный диагностический маркер.

Общий белок и альбумин: Снижение указывает на проблемы с печенью (цирроз), почками (нефротический синдром), недоедание.

С-реактивный белок (СРБ) и фибриноген: Резкое повышение — маркер острого воспаления или инфекции. Медсестра видит это в анализах и связывает с температурой, болью и другими симптомами у пациента.

Специфические белки: например, **тропонин** (маркер инфаркта миокарда), **ферритин** (маркер запасов железа). Медсестра понимает, *почему* для анализа необходима быстрая и правильная транспортировка пробы в лабораторию.

3. Организация лечебного питания

Назначение диеты — задача врача, но ее реализация и контроль ложатся на медсестру.

- Знание, в каких продуктах содержится полноценный белок (мясо, рыба, яйца, молочные продукты, бобовые).
- Понимание различий между обычным питанием и **энтеральным питанием** (специальные белковые смеси, которые вводятся через зонд). Медсестра готовит смесь, рассчитывает скорость введения, следит за переносимостью.
- Контроль за **парентеральным питанием** (внутривенное введение аминокислотных растворов). Здесь требуется строжайшее соблюдение правил асептики и скорости введения.

4. Профилактика пролежней и уход за ранами

- **Процесс заживления** напрямую зависит от белка. Коллаген, фибрин, иммуноглобулины — все это белки.
- Медсестра, зная это, понимает, что у пациента с низким albuminom раны и пролежни будут заживать медленнее и требуют особо тщательного ухода и усиленного белкового питания.

5. Понимание действия лекарств и развитие аллергий

- **Многие лекарства** транспортируются в крови с помощью белков-переносчиков.
- **Аллергические реакции** — это часто иммунный ответ на белок-аллерген или на соединение белка с лекарством (гаптен).
- Медсестра, зная это, может быть более внимательной к возможным признакам лекарственной непереносимости.

6. Работа с иммунной системой

- **Антитела (иммуноглобулины) — это белки.** Понимание этого помогает медсестре осознавать важность вакцинации, значение уровней IgG/IgA для пациентов с иммунодефицитами и роль белкового питания для поддержания иммунитета.

7. Обучение пациентов

Медсестра часто объясняет пациентам принципы диеты.

- **Пример для пациента с диабетом:** объяснить, что белки не вызывают резкого скачка сахара в крови и важны для чувства сытости.
- **Пример для пациента после операции:** убедить его в необходимости есть мясо или творог для быстрого восстановления тканей.

Краткий итог:

Знания о белках позволяют медсестре перейти от механического выполнения назначений к **осознанному сестринскому процессу**. Она не просто "ставит капельницу с альбумином", а **понимает**, для чего это нужно: чтобы поднять онкотическое давление крови и убрать отеки у пациента с циррозом печени. Это основа профессиональной компетентности и качественного ухода.

Вопросы для закрепления материала:

1. Что такое белки и из каких мономеров они состоят?
2. Какие основные функции выполняют белки в организме?
3. Назовите четыре уровня организации структуры белка.
4. Сколько стандартных аминокислот входит в состав белков?
5. Какая связь соединяет аминокислоты в полипептидной цепи?
6. Что такое первичная структура белка?
7. Что обеспечивает стабильность α -спирали и β -слоя?
8. Чем отличается глобулярный белок от фибриллярного?
9. Что такое денатурация белка?
10. Какие факторы могут вызвать денатурацию белков?

ТЕСТЫ

1. Функциональные группы, образующие пептидную связь

- А) Карбокси и аминогруппы
- Б) Гидроксильная и карбоксильная
- В) Гидроксильная и метильная
- Г) Амино и метильная группы
- Д) Амино и гидроксильная

2. Связь, участвующая в образовании первичной структуры белка

- А) Пептидная
- Б) Водородная
- В) Ионная
- Г) Фосфодиэфирная
- Д) Дисульфидная

3. Первичная структура белка, это

- А) Последовательность аминокислот в полипептидной цепи
- Б) Количество аминокислот в полипептидной цепи
- В) Расположение аминокислот в белковой молекуле
- Г) Расположение полипептидной цепи
- Д) Симметричное расположение аминокислот в полипептидной цепи

4. Приводит ли к изменению свойств белка замена одной аминокислоты в полипептидной цепи:

- А) Меняется
- Б) Не меняется
- В) Практически не меняется
- Г) Усиливаются амфотерные свойства
- Д) Ослабевают амфотерные свойства

5. Количество аминокислот в молекуле инсулина

- А) 51
- Б) 150
- В) 31
- Г) 151
- Д) 38

6. В молекуле белка при денатурации не наблюдается

- А) Разрушение первичной структуры

- Б) Снижение растворимости белка
- В) Выпадение белка в осадок
- Г) Разрыв водородных связей
- Д) Изменение конформации молекулы

7. Температура при которой наблюдается потеря нативных свойств

- А) 60
- Б) 37
- В) 42
- Г) 45
- Д) 4

8. Химические связи,обуставливающие вторичную структуру белка

- А) Водородная
- Б) Ионная
- В) Пептидная
- Г) Дисульфидная
- Д) Фосфоэфирная

9. Конформации вторичной структуры белка

- А) Альфа-спираль и бетта-структура
- Б) Альфа-спираль и альфа-структура
- В) Бетта-спираль и альфа-структура
- Г) Альфа и бетта структуры
- Д) Альфа и бетта спирали

10.Дайте наиболее полное определение третичной структуре белка

- А) Пространственное расположение альфа-спирали и бетта структуры
- Б) Образование бетта структуры полипептидной цепью
- В) Образование альфа-спирали белковой молекулой
- Г) Конфигурация нескольких полипептидных цепей
- Д) Взаимоположение участков полипептидной цепи в пространстве

11.Четвертичной структурой белка называется

- А) Взаимное расположение в пространстве нескольких полипептидных цепей
- Б) Образование в пространстве спирали полипептидной цепью
- В) Образование в пространстве спирали несколькими полипептидными цепями
- Г) Сумма первичной, вторичной, третичной структур белка
- Д) Взаимное расположение аминокислот

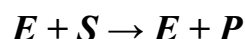
Глава 3

ФЕРМЕНТЫ

*"Ферменты — это волшебные ключи,
открывающие двери к жизни".*

Ричард Дикерсон

Ферменты (от лат. *fermentum* – «закваска»), или **энзимы** (от греч. *enzyme* – в дрожжах), — обычно высокоспециализированный класс белков и РНК (рибозимы) или их комплексы, ускоряющие химические реакции в живых системах, включая синтез, распад и взаимопревращение множества разнообразных химических соединений. Реагенты в ферментативной (E) реакции называются субстратами (S), а получающиеся вещества — продуктами (P):



ХИМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ФЕРМЕНТОВ

Ферменты, как и все белки, обладают рядом свойств, характерных для высокомолекулярных соединений: амфотерностью (могут существовать в растворе в виде анионов, катионов и амфионов); электрофоретической подвижностью благодаря наличию в них положительных и отрицательных зарядов, а в изоэлектрической точке не обнаруживают подвижности в электрическом поле. Ферменты неспособны к диализу через полупроницаемые мембраны. Подобно белкам, ферменты имеют большую молекулярную массу – от десятков тысяч до нескольких миллионов.

СТРОЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ

Ферменты делятся на **простые** и **сложные**. Простые ферменты состоят только из полипептидных цепей и при гидролизе расщепляются исключительно на аминокислоты. К таким ферментам (простым белкам)

относятся, например, пепсин, трипсин, папаин, уреазы, лизоцим, рибонуклеаза и фосфатаза.

Однако большинство природных ферментов относятся к **сложным белкам**, которые, помимо полипептидных цепей, содержат небелковый компонент – **кофактор**. Его наличие критически важно для каталитической активности. Кофакторы могут различаться по химической природе и прочности связи с белковой частью. Если полипептидные цепи прочно связаны с кофактором и не отделяются при очистке, такой фермент называют **холоферментом** (холоэнзимом), а кофактор – **простетической группой**. Белковую часть в этом случае именуют **апоферментом**.

Коферменты – это кофакторы, которые легко отделяются от апофермента при диссоциации. Обычно они содержат витамины или их производные. Важно отметить, что в двухкомпонентных ферментах ни кофактор (включая большинство коферментов), ни апофермент по отдельности не обладают каталитической активностью. Только их объединение в единую структуру обеспечивает эффективное протекание химической реакции.

АКТИВНЫЙ ЦЕНТР ФЕРМЕНТА: СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ

Активный центр – это специфический участок молекулы фермента, который избирательно взаимодействует с субстратом и обеспечивает катализ.

Его структура определяет **специфичность** и **активность** фермента.

1. Строение активного центра (рис. 6).

Активный центр формируется за счёт:

а) каталитического участка

- Содержит аминокислотные остатки, непосредственно участвующие в химическом превращении субстрата.
- Часто включает нужные функциональные группы:

б) контактного (якорного) участка



Рисунок 6. Схема строения активного центра фермента

2. Значение активного центра

Определяет каталитическую активность – без него фермент не работает.

Обеспечивает регуляцию (например, аллостерические ингибиторы меняют его конформацию).

Объясняет мутации – замена даже одной аминокислоты в активном центре может инактивировать фермент (пример: серповидноклеточная анемия из-за мутации в β -глобине).

ЭТАПЫ ФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛИЗА

В ферментативной реакции можно выделить следующие этапы (*Рис. 7*):

1. Присоединение субстрата (S) к ферменту (E) с образованием фермент-субстратного комплекса (E-S).

2. Преобразование фермент-субстратного комплекса (E-S) в один или несколько переходных комплексов (E-X) за одну или несколько стадий.

3. Превращение переходного комплекса (E-X) в комплекс фермент-продукт (E-P).

4. Отделение конечных продуктов от фермента.

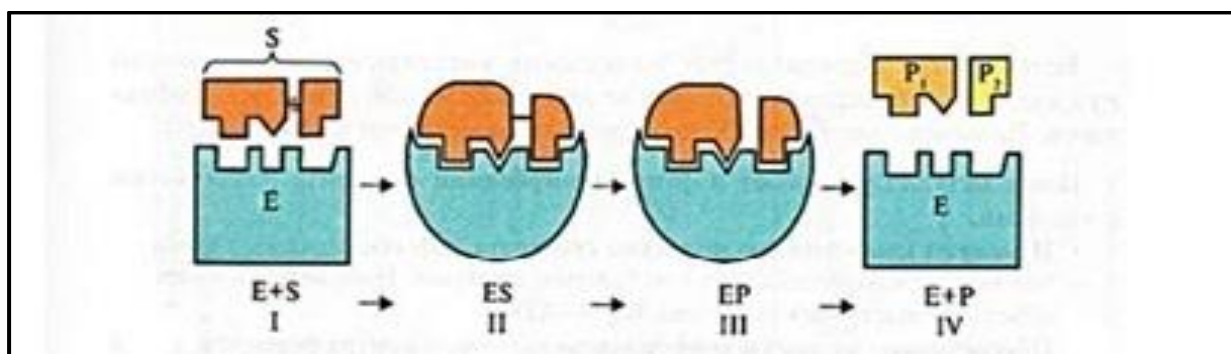
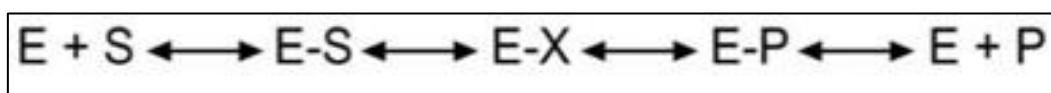


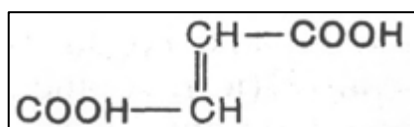
Рисунок 7. Этапы ферментативного катализа

I – этап сближения и ориентации субстрата в активном центре фермента; II – образование фермент-субстратного комплекса (ES); III – образование неустойчивого комплекса фермент-продукт (EP); IV – высвобождение продуктов реакции из активного центра фермента.

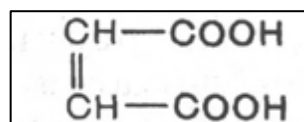
СПЕЦИФИЧНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ

Специфичность основана на комплементарности структуры субстрата и активного центра фермента.

1. **Стереоспецифичность** – катализ только одного из стереоизомеров, например: специфичность к **L-** или **D-аминокислотам** (почти все ферменты человека взаимодействуют с L-аминокислотами), специфичность к **цис-** или **транс-изомерам** (фумараза реагирует только с транс-изомером – фумаровой кислотой, но не с малеатом, который является цис-изомером).



Фумаровая кислота



Малеиновая кислота

2. **Фермент с абсолютной специфичностью** катализирует превращение только одного субстрата (**уреаза** расщепляет только мочевины, **глюкокиназа** фосфорилирует только D-глюкозу).

3. **Фермент с групповой специфичностью** взаимодействует с похожими по строению веществами, катализируя однотипные превращения, проявляет более широкую субстратную специфичность (фермент липаза в жирах расщепляет связи между глицеролом и различными жирными кислотами; пепсин катализирует разрыв пептидной связи, образованной аминокеттами ароматических аминокетт, тромбин в своих субстратах расщепляет пептидную связь только между аргинином и глицерином).

4. **Относительная групповая специфичность** – превращение субстратов с некоторыми общими признаками. Например, цитохром Р450 окисляет только гидрофобные вещества, которых насчитывается около 7000.

МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЕРМЕНТА С СУБСТРАТОМ

"Ключ-замок" (по Э. Фишеру) – жёсткое соответствие формы субстрата и активного центра, фермент и субстрат идеально подходят друг к другу с самого начала (Рис. 8а).

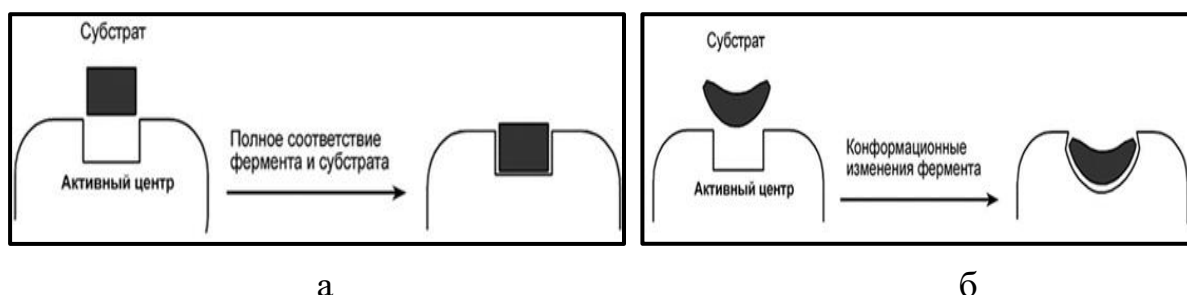


Рисунок 8. Модели взаимодействия фермента с субстратом.

а – Теория Фишера – модель специфичности «ключ-замок»,
б – Теория Кошланда – модель специфичности «рука-перчатка».

"Индукционное соответствие" (по Д. Кошланду) – активный центр частично меняет конформацию после связывания субстрата. Проще говоря: фермент — как перчатка, которая слегка подстраивается под форму руки (субстрата), когда вы её надеваете (Рис. 8б).

Таблица 3.

Сравнение ферментов и неорганических катализаторов

Критерий	Ферменты	Неорганические катализаторы
Природа	Белки (реже РНК – рибозимы)	Металлы, их оксиды, кислоты, соли и др.
Специфичность	Высокая (работают с определёнными субстратами)	Низкая (катализируют разные реакции)
Скорость реакции	Ускоряют в миллионы раз	Ускоряют в десятки-сотни раз
Условия работы	Оптимальны при мягких условиях (температура 20–40°C, нейтральный pH)	Часто требуют высоких температур и давления
Регуляция	Регулируются, т.е. подвержены активации и ингибированию (аллостерическая регуляция, ковалентная модификация)	Обычно не регулируются
Стабильность	Чувствительны к денатурации (температура, pH, соли тяжёлых металлов)	Устойчивы к экстремальным условиям
Механизм действия	Действуют через активный центр, образуя фермент-субстратный комплекс	Часто работают за счёт поверхностных взаимодействий (например, Pt в гидрировании)

Ферменты остаются неизменными после реакции, т.е. освобождаясь, могут вновь реагировать с новыми молекулами субстрата. Ферменты катализируют ряд химических реакций, аналогичных химическим реакциям, катализируемым неорганическими веществами. В таблице № 3 представлены данные по сравнению ферментов и неорганических катализаторов.

СВОЙСТВА ФЕРМЕНТОВ

1. Зависимость активности фермента от температуры.

Установлено, что скорость большинства биохимических реакций повышается в 2 раза при повышении температуры на 10 °С и, наоборот, снижается в 2 раза при понижении температуры на 10 °С. Однако вследствие белковой природы фермента тепловая денатурация при повышении температуры будет снижать скорость реакции. Температура выше 50 °С приводит к полному прекращению ферментативного процесса (Рис. 9).

Практическое значение температурной зависимости ферментов

- **Медицина:** Лихорадка (повышение температуры) ускоряет иммунные реакции, но при >40 °С опасна денатурацией белков.
- **Пищевая промышленность:** Пастеризация (нагревание до 60-80 °С) инактивирует ферменты микробов.
- **Биотехнологии:** Использование термостабильных ферментов (Тақ-полимеразы в ПЦР).

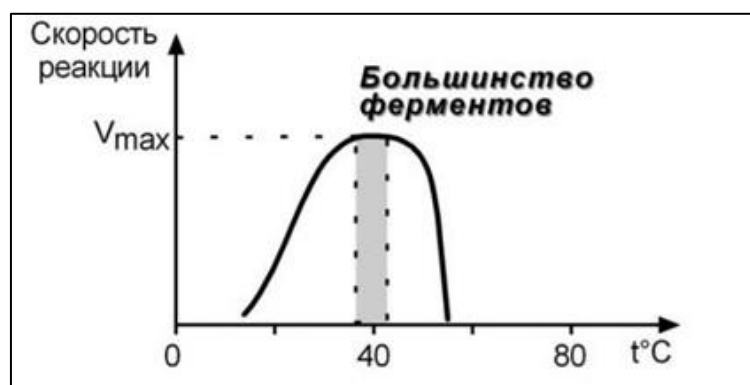


Рис. 9. Зависимость скорости реакции от температуры.

2. Зависимость активности фермента от pH — описывается

колоколообразной кривой с максимумом скорости при оптимальном для данного фермента значении pH. Для каждого фермента существует определенный узкий интервал pH среды, который является оптимальным

для проявления его высшей активности. Например, оптимальные значения рН для пепсина – 1,5-2,5, трипсина – 8,0-8,5, амилазы слюны – 7,2, аргиназы – 9,7, кислой фосфатазы – 4,5-5,0, сукцинатдегидрогеназы – 9,0 (Рис. 10).

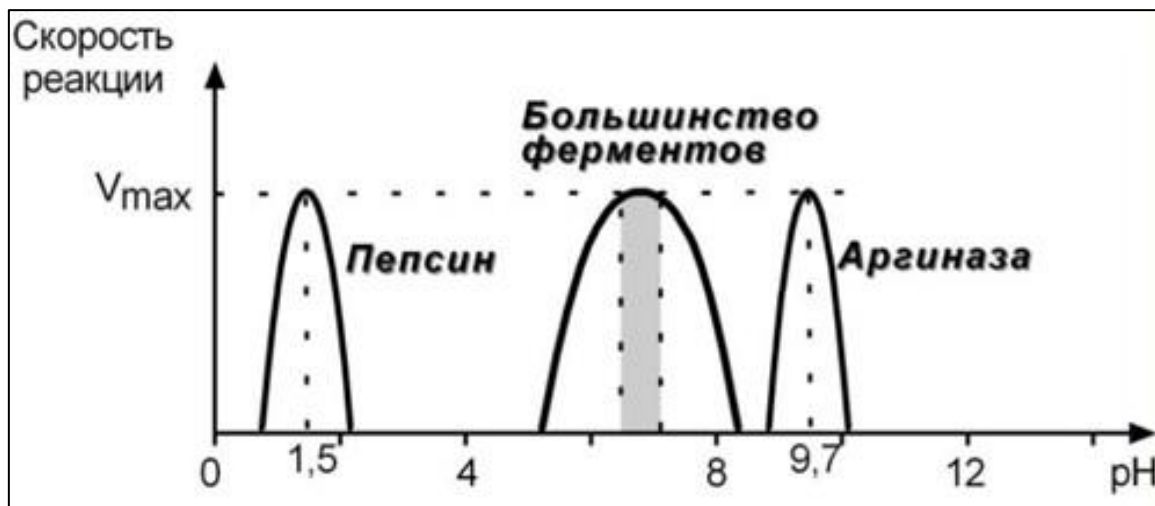


Рис. 10. Зависимость скорости реакции от рН.

3. Зависимость активности фермента от его количества — при увеличении количества молекул фермента скорость реакции возрастает непрерывно и прямо пропорционально количеству фермента, т.к. большее количество молекул фермента производит большее число молекул продукта (рис. 11а).

4. Зависимость активности фермента от концентрации субстрата — при увеличении концентрации субстрата скорость реакции сначала возрастает, затем наблюдается эффект насыщения (плато на кривой), когда все молекулы фермента заняты молекулами субстрата и непрерывно ведут катализ. Здесь скорость реакции максимальна (рис. 11б).

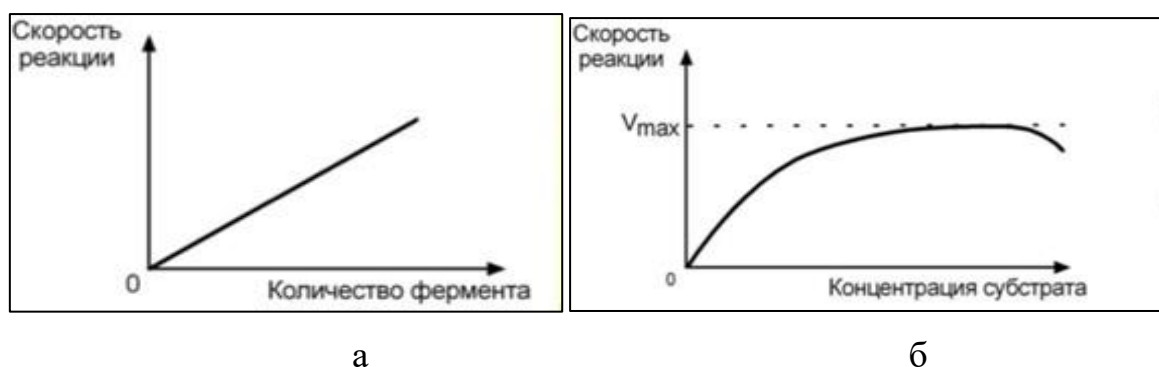


Рис. 11. Зависимость скорости реакции от количества фермента (а) и от концентрации субстрата (б).

КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ

Ферменты классифицируются на семь основных классов по типу катализируемых реакций: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы и транслоказы (таб. 4). Эта система используется во всём мире и закреплена Международным союзом биохимии и молекулярной биологии (IUBMB).

Таблица 4.

Основные классы ферментов

№	Класс	Тип реакции	Примеры ферментов
1	Оксидоредуктазы	Окислительно-восстановительные реакции	Дегидрогеназы, оксидазы
2	Трансферазы	Перенос функциональных групп (радикалов)	Метилтрансферазы, Киназы (фосфотрансферазы)
3	Гидролазы	Реакции гидролиза (расщепление с участием воды)	Липазы, протеазы

№	Класс	Тип реакции	Примеры ферментов
4	Лиазы	Негидролитическое расщепление или присоединение по двойной связи	Декарбоксилазы, альдолазы
5	Изомеразы	Внутримолекулярный перенос групп с образованием изомерных форм	Фосфоглюкомутаза, рацемазы
6	Лигазы	Соединение двух молекул и образование связей C—C, C—O, C—S и C—N, с затратой энергии АТФ	ДНК-лигаза, карбоксилазы
7	Транслоказы	Перенос ионов или молекул через мембраны	АТФ-синтаза, транспортные белки

Регуляция активности ферментов

Активность ферментов в клетке постоянно меняется. Это происходит в ответ на внешние и внутренние факторы, влияющие на клетку. В результате она приспосабливается к новым условиям, и тем самым отвечает на те или иные стимулы. Регуляция активности ферментов— это ключевой механизм, позволяющий клетке адаптироваться к изменениям среды и поддерживать метаболический баланс. Она осуществляется через изменение количества ферментов, их каталитической активности и условий реакции.

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ

1. Изменение количества ферментов

Конститутивные ферменты — синтезируются постоянно, независимо от условий.

Адаптивные ферменты — их образование зависит от внешних факторов.

Индуклируемые — включаются при необходимости (например, катаболические ферменты).

Репрессируемые — синтез подавляется при избытке продукта.

2. Изменение каталитической активности

Аллостерическая регуляция. Аллостерические ферменты построены из двух и более субъединиц: одни субъединицы содержат каталитический центр, другие являются регуляторными. — связывание молекулы-эффектора (активатора или ингибитора) изменяет конформацию фермента, а значит и его активность (рис. 12).

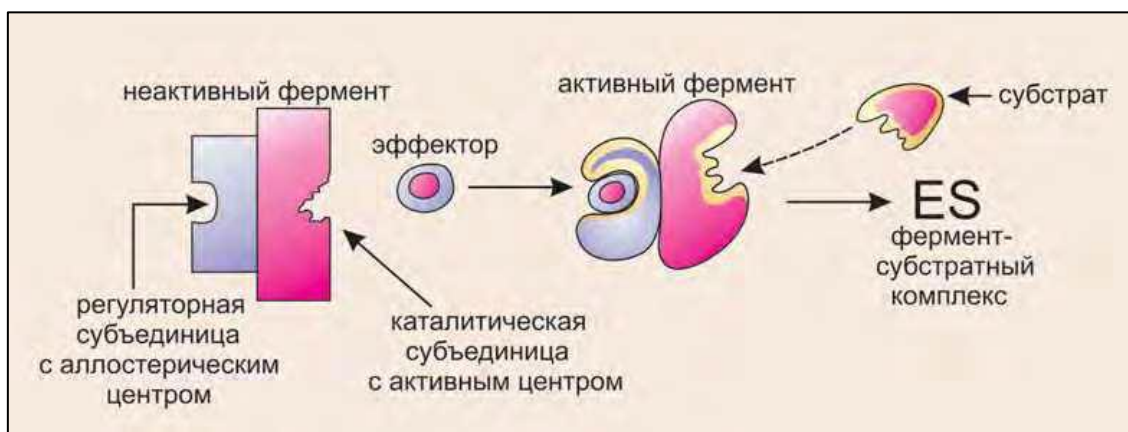


Рис. 12. Схема активации каталитического центра аллостерического фермента под воздействием эффектора.

Ковалентная модификация — Ковалентная модификация заключается в обратимом присоединении или отщеплении определенной группы (чаще фосфатной), благодаря чему изменяется активность фермента (рис. 13).

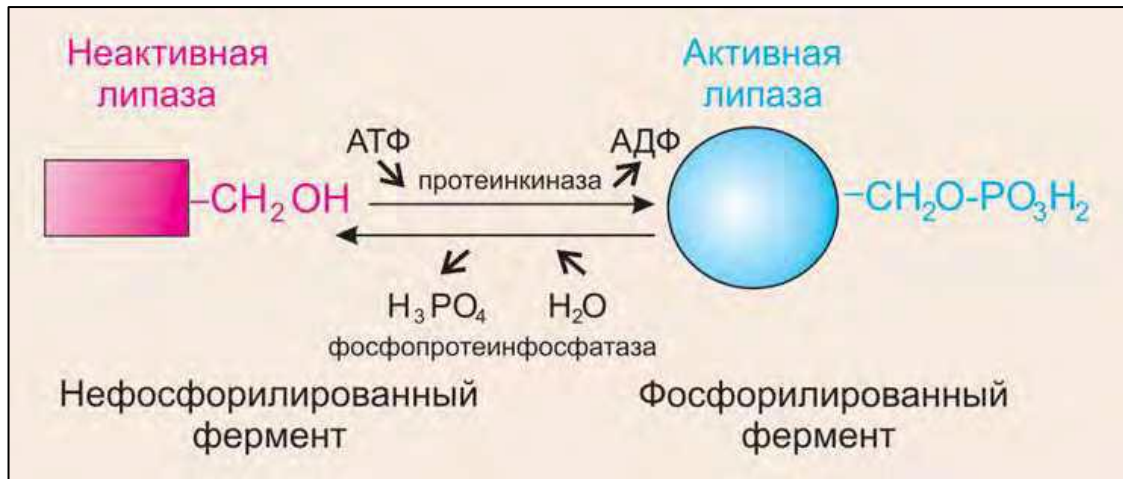


Рис. 13. Схема регуляции активации липазы за счет фосфорилирования.

• *Протеолитическая активация* (частичный протеолиз (рис.14)). — ферменты синтезируются как неактивные зимогены и активируются отщеплением части молекулы (механизм активации подробно рассматривается в главе 9).

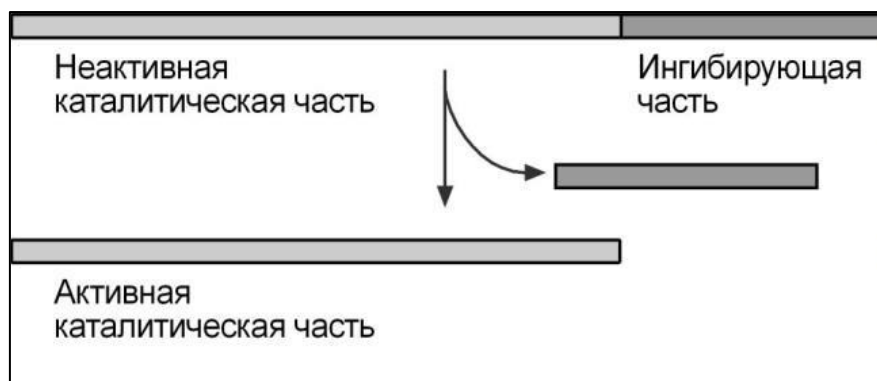


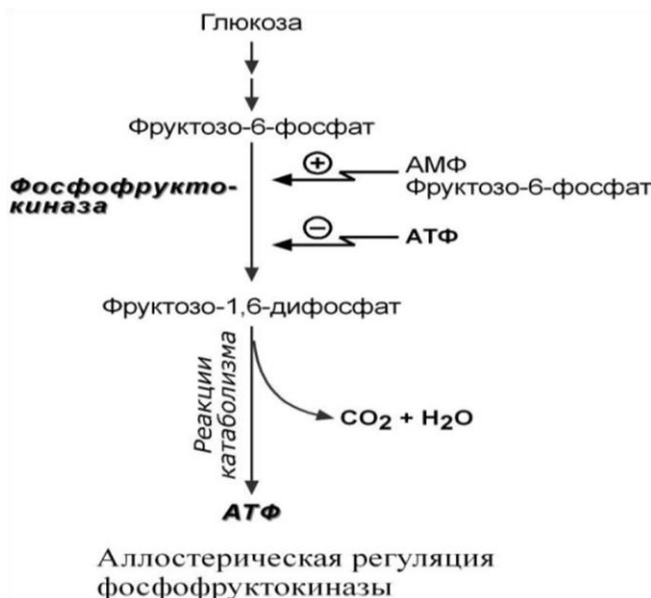
Рис. 14. Схема активации фермента способом «ограниченного протеолиза»

3. Изменение условий реакции

- *Концентрация субстрата и кофермента* — действует закон действия масс: скорость реакции зависит от концентрации реагентов.
- *Температура и pH* — влияют на структуру белка и скорость реакции.

Регуляции подвергаются немногие ферменты, а определенные называемые **ключевыми**. Они обычно катализируют необратимые реакции, находятся в начале метаболического пути или на его развилке, например: фосфофруктокиназа-1 в гликолизе.

Фосфофруктокиназа, регулируется промежуточными и конечными продуктами этого распада. При этом АТФ, лимонная кислота, фруктозо-1,6-дифосфат являются ингибиторами, а фруктозо-6-фосфат и АМФ – активаторами фермента.



ИНГИБИРОВАНИЕ ФЕРМЕНТОВ

Ингибирование ферментов — это процесс снижения или полного прекращения их каталитической активности под действием специальных веществ (ингибиторов). Оно играет огромную роль в регуляции метаболизма, фармакологии и биохимии.

Основные типы ингибирования

1. По прочности связывания фермента с ингибитором ингибирование бывает **обратимым** и **необратимым**.
2. По отношению ингибитора к активному центру фермента ингибирование делят на **конкурентное** и **неконкурентное**.

Конкурентное:

Ингибитор похож на субстрат и конкурирует с ним за активный центр.

Пример: малонат сходен по строению с сукцинатом и ингибирует сукцинатдегидрогеназу (рис.15).

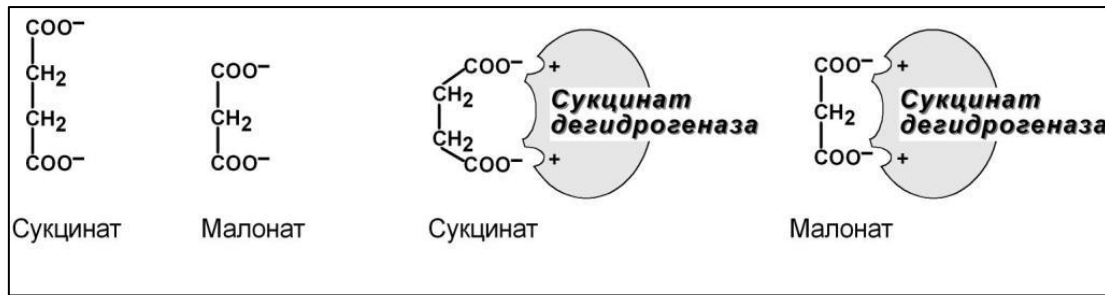


Рис. 15. Механизм конкурентного ингибирования сукцинатдегидрогеназы.

Неконкурентное: Ингибитор связывается с другим участком фермента, изменяя его структуру.

- Пример: ионы тяжёлых металлов (Hg^{2+} , Pb^{2+}).

Смешанное: Ингибитор может связываться как с ферментом, так и с комплексом фермент–субстрат.

2. Необратимое ингибирование

- Ингибитор прочно связывается с ферментом (ковалентно или очень сильно).
- Пример: пенициллин необратимо ингибирует транспептидазу бактерий; дифторфос блокирует ацетилхолинэстеразу.

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭНЗИМОЛОГИЯ

Состоит из 3-х разделов:

1. Энзимопатология - призвана изучать молекулярные основы развития патологического процесса, основанные на данных нарушения механизмов регуляции активности или синтеза индивидуального фермента или группы ферментов.

2. Энзимодиагностика – путем определения активности ферментов в биологических жидкостях ставится диагноз заболевания.

3. Энзимотерапия – для лечения различных заболеваний используются ферментные препараты (ферменты, коферменты, антиферментные препараты).

Кроме этого, ферменты широко используются в медицинских технологиях и промышленности. Также активно нашло применение использование ингибиторов ферментов.

Энзимопатологии

Энзимопатологии (энзимопатии) – состояния, связанные с патологическим увеличением или снижением активности ферментов. Наиболее часто встречается снижение их активности с нарушением соответствующих метаболических процессов. При энзимопатологии клиническое значение может иметь накопление субстрата реакции, например: фенилаланина при фенилкетонурии, свободного билирубина при физиологической желтухе новорожденных, некоторых жиров при болезнях лизосомального накопления (липидозы), недостаток продукта, например: меланина при альбинизме, катехоламинов при паркинсонизме. По характеру нарушения выделяют первичные и вторичные энзимопатии.

Первичные (наследственные) энзимопатии связаны с генетическим дефектом и наследственным снижением активности ферментов (*рис.16*). Например, фенилкетонурия связана с дефектом фенилаланин-4-монооксигеназы, которая превращает фенилаланин в тирозин. В результате накапливаются аномальные метаболиты фенилаланина, оказывающие сильный токсический эффект. Заболевание подагра связано с дефектом ферментов метаболизма пуриновых оснований и накоплением мочевой кислоты. Кроме указанных, примером первичных энзимопатий являются галактоземия, лактоземия, различные липидозы и гликогенозы.

Вторичные (приобретенные) энзимопатии возникают как следствие заболеваний органов, вирусных инфекций и т.п., что приводит к нарушению синтеза фермента или условий его работы, например, гипераммониемия при заболеваниях печени, за счёт ухудшения образования мочевины и в крови накапливается аммиак. Другим примером

может служить недостаточность ферментов желудочно-кишечного тракта при заболеваниях желудка, поджелудочной железы или желчного пузыря. Недостаток витаминов и их коферментных форм также является причиной вторичных ферментопатий.



Рис. 16. Схема возникновения первичных (наследственных) энзимопатий.

Энзимодиагностика

Энзимодиагностика — это метод лабораторной диагностики, основанный на использовании ферментов для выявления различных заболеваний. Он широко применяется в биохимии и медицине для анализа активности ферментов в крови, моче и других биологических жидкостях.

К примеру **лактатдегидрогеназа**, определение ее активности в плазме крови необходимо при заболеваниях сердца, печени, скелетной мускулатуры. Увеличение активности **α -амилазы** в плазме крови и моче наблюдается при воспалительных процессах в поджелудочной и слюнных железах. Инфаркт миокарда характеризуется увеличением активности **лактатдегидрогеназы, креатинкиназы, аспаратаминотрансферазы**.

Энзимотерапия

Энзимотерапия – это использование ферментов в качестве лекарственных средств. Примеры использования ферментов в лечении: **Фестал, Панзинорм, Мезим** – при лечении болезней ЖКТ; **Гиалуронидаза** используется организмом для обратимого изменения проницаемости межклеточного вещества. Лекарственную форму гиалуронидазы – **лидазу** – вводят для размягчения рубцов и т. п.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ ФЕРМЕНТОВ

Ингибиторы холинэстеразы (физостигмин, прозерин) приводят к накоплению нейромедиатора ацетилхолина в синапсах и используются при миастении, двигательных и чувствительных нарушениях при невритах, радикулитах. Препараты, содержащие **ингибиторы моноаминоксидазы** (наком, мадопар) используются при снижении выработки нейромедиаторов катехоламинов в ЦНС и для лечения паркинсонизма.

Ингибиторы ангиотензин превращающего фермента (каптоприл, эналаприл и т.п.) используются как антигипертензивное средство и вызывают расширение периферических сосудов, уменьшение нагрузки на миокард, снижение артериального давления.

Аллопуринол – ингибитор ксантиноксидазы, фермента катаболизма пуринов. Используется для снижения образования мочевой кислоты и подавления развития гиперурикемии и подагры.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ ЗНАНИЯ О ФЕРМЕНТАХ МЕДСЕСТРЕ?

Знания о ферментах являются критически важными для медицинской сестры и составляют часть ее профессиональной компетенции. Это не просто теоретическая информация, а практический инструмент для ежедневной работы.



Так, например:

1. Правильный забор, хранение и транспортировка биоматериала

Это одна из самых важных практических задач. Активность ферментов в пробирке может меняться, и, если медсестра не соблюдает правила, результат анализа будет ложным.

Пример 1: ЛДГ (Лактатдегидрогеназа), КФК (Креатинфосфокиназа).

ЛДГ имеет 5 изоформ и 1-я изоформа – ЛДГ1 преобладает в миокарде и эритроцитах. КФК отсутствует в эритроцитах, однако активность этого фермента определяется в крови и в норме (она попадает в кровь за счёт естественного разрушения клеток тканей) и при гемолизе его активность может меняться. Если медсестра сильно встряхнет пробирку или вовремя не отделит сыворотку от сгустка, эритроциты разрушатся, и их ферменты попадут в плазму. Результат будет ложно завышен, и врач может заподозрить у пациента инфаркт миокарда или разрушение мышц, которого на самом деле нет.

Пример 2: Щелочная фосфатаза. Активность этого фермента сильно зависит от температуры. Пробирку нельзя охлаждать, иначе результат будет неверным.

Вывод: Медсестра должна знать, какие пробы требуют особых условий (охлаждения, быстрой доставки в лабораторию, использования специальных пробирок), чтобы обеспечить точность диагностики.

2. Понимание патологических процессов и состояния пациента

Знания о ферментах помогают медсестре не механически выполнять задания, а осмысленно оценивать тяжесть состояния пациента и предвидеть возможные осложнения.

Пример 1: Инфаркт миокарда. Медсестра знает, что при повреждении сердечной мышцы в крови резко повышается активность специфических ферментов — КФК-МВ, АСТ и ЛДГ. Она понимает, что взятие у пациента крови несколько раз в сутки позволяет проследить динамику патологического процесса. Это помогает ей осознать важность своевременного забора анализов.

Пример 2: Панкреатит. Резкий скачок амилазы и липазы в крови и моче говорит об остром приступе. Медсестра, видя такие результаты, понимает, что пациент нуждается в особых условиях (голодание, холодный компресс на область поджелудочной железы) и интенсивной терапии.

Пример 3: Заболевания печени (гепатит, цирроз). Повышение АЛТ, АСТ, ГГТП сигнализирует о разрушении клеток печени. Это влияет на особенности сестринского ухода: необходимость щадящей диеты, контроль за приемом гепатотоксичных препаратов, наблюдение за цветом кожи и склеры глаза (желтуха).

3. Контроль эффективности лечения и побочных действий лекарств

Многие лекарства влияют на активность ферментов.

Пример: Статины (препараты для снижения уровня холестерина) могут вызывать повреждение мышц. Контроль уровня КФК позволяет вовремя обнаружить это побочное действие и предотвратить серьезные осложнения (рабдомиолиз). Медсестра, зная это, будет более внимательно расспрашивать пациента на предмет мышечных болей при проведении опроса.

4. Проведение и объяснение пациенту подготовку к анализам

Многие биохимические показатели, включая ферменты, зависят от приема пищи, физической нагрузки и времени суток.

Пример: Уровень АЛТ, АСТ может повыситься после интенсивной тренировки. Уровень **липазы** — после жирной пищи.

Задача медсестры: грамотно объяснить пациенту, почему важно сдавать кровь строго натощак, избегать накануне физических нагрузок и употребления алкоголя.

5. Обучение пациентов

Медсестра часто объясняет пациентам с хроническими заболеваниями суть их болезни и принципы лечения.

Пример для пациента с панкреатитом: Медсестра может доступно объяснить: «Ваша поджелудочная железа воспалена и выделяет свои ферменты не в кишечник, а начинает "переваривать" саму себя. Поэтому мы видим повышенные цифры в анализах и поэтому так важно сейчас ничего не кушать, чтобы дать ей отдых».

Таким образом, знания о ферментах переводят работу медсестры из разряда простого выполнения медицинских процедур в область **осознанной, профессиональной деятельности**, где каждое действие имеет научное обоснование и напрямую влияет на качество диагностики и лечения пациента.

Вопросы для закрепления материала:

1. Что такое ферменты?
2. К какой группе биомолекул относятся ферменты?
3. Какую основную функцию выполняют ферменты в организме?
4. Что такое активный центр фермента?
5. Что такое субстрат?
6. Как называется комплекс фермента с субстратом?
7. Что такое специфичность фермента?
8. Какие факторы влияют на активность ферментов?

9. Как температура влияет на работу ферментов?
10. Что такое коферменты и кофакторы?
11. Что такое конкурентное ингибирование?
12. Что такое аллостерическая регуляция ферментов?
13. Почему ферменты жизненно необходимы для биохимических процессов?

ТЕСТЫ

1. Что лежит в основе деления ферментов на классы

- А) Тип катализируемой реакции
- Б) Строение продуктов реакции
- В) Строение апофермента
- Г) Строение кофермента
- Д) Строение субстрата

2. Найдите класс фермента, катализирующий следующую реакцию $A-B + H_2O \rightarrow A-OH + H-B$:

- А) Гидролазы
- Б) Оксидоредуктазы
- В) Лигазы
- Г) Трансферазы
- Д) Изомеразы

3. Как называется активная форма двухкомпонентных ферментов:

- А) Холофермент
- Б) Кофермент
- В) Кофактор
- Г) Апофермент
- Д) Аллостерический фермент

4. Что обеспечивает специфичность ферментов

- А) Активный центр
- Б) Аллостерический центр
- В) Кофактор
- Г) Кофермент
- Д) Простетическая группа

5. Какую основную опасность представляет повышение температуры выше 40°C

- А) Денатурация белка
- Б) Ускорение дыхания

- В) Потеря воды с потом
- Г) Ускорение обмена веществ
- Д) Ускорение числа сокращения сердца

6. При какой температуре ферменты не денатурируются /°С/

- А) 0
- Б) 50-60
- В) 65-70
- Г) 45-50
- Д) 55-60

7. В чем заключается функция аллостерического центра:

- А) Регуляция активности фермента
- Б) Обеспечение специфичности
- В) Присоединение кофермента
- Г) Присоединение кофактора
- Д) Присоединение протомеров

8. Как регулируется активность трипсиногена:

- А) Частичным протеолизом
- Б) Концентрацией субстрата
- В) Аллостерической регуляцией
- Г) Ковалентной модификацией
- Д) Фосфолированием и дефосфолированием

9. На чем основана специфичность фермента?

- А) На химическом сродстве фермента и субстрата
- Б) На изменении первичной структуры фермента и субстрата
- В) На наличии кофермента
- Г) На наличии активатора
- Д) На сродстве фермента и аллостерического центра

10. Как измеряется активность фермента? Подберите верный (обобщающий) ответ:

- А) По убыли субстрата и накоплению продуктов реакции
- Б) По накоплению продуктов реакции
- В) По убыли субстрата
- Г) По принципу комплементарности
- Д) По образованию продукта реакции

ГЛОССАРИЙ ПО БИОХИМИИ

1. Абсорбтивный период - поступление в организм, переваривание и усвоение белков, жиров и углеводов.
2. Агрекан - основной структурный элемент хрящевого матрикса, состоящий из сотен протеогликановых мономеров, нековалентно присоединённых к одной молекуле глюконовой кислоты.
3. Аденилатциклаза - фермент плазматической мембраны, катализирующий реакцию образования цАМФ из АТФ.
4. Аденозинмонофосфат (АМФ) - моноклеотид, состоящий из аденина, рибозы и остатка фосфорной кислоты.
5. Аденозинтрифосфат (АТФ) - макроэргическое вещество, являющееся главным переносчиком химической энергии в живой клетке.
6. Адипоциты - клетки жировой ткани.
7. Адреналин - гормон мозгового вещества надпочечников.
8. Адренокортикотропный гормон (АКТГ) - вырабатывается в аденогипофизе, стимулирует кору надпочечников.
9. Азотистый баланс - соотношение количества азота, поступившего с пищей и выведенного из организма; у детей и беременных - положительный, у взрослых - нулевой, у престарелых - отрицательный.
10. Активный центр - участок молекулы фермента, на котором происходит реакция.
11. Аланин - неполярная, заменимая протеиногенная аминокислота.
12. Алкалоз - сдвиг pH крови в щелочную сторону.
13. Алкогольдегидрогеназа - фермент класса оксидоредуктаз, катализирующий реакцию окисления этанола.
14. Аллопуринол - структурный аналог гипоксантина, применяется в лечении подагры.
15. Альбумин - простой, глобулярный, кислый белок.
16. Альдостерон - стероидный гормон коры надпочечников, регулирующий минеральный обмен.

17. Амилаза (Р-панкреатическая, S-слюнных желёз) - фермент класса гидролаз, расщепляет α -1,4-гликозидные связи амилозы и амилопектина.
18. Аминоацил-тРНК-синтетаза - фермент, катализирующий связывание аминокислот с соответствующими тРНК.
19. Аминокислота - мономер, из которого состоят белки (строго говоря, они состоят из α -аминокислот). По свойствам боковых радикалов различают неполярные, полярные, кислые и щелочные аминокислоты. Благодаря разнообразию химических свойств аминокислот достигается разнообразие функций белков.
20. Аминопептидаза - гидролаза, катализирующая отщепление N-концевой аминокислоты.
21. Аминотрансфераза - фермент, катализирующий перенос аминогруппы с аминокислоты на кетокислоту с участием пиридоксальфосфата.
22. Анаболизм - энергозависимый процесс синтеза более сложных веществ из относительно простых.
23. Антитела - защитные белки плазмы крови, то же, что иммуноглобулины. Антитела обладают способностью специфически связываться с чужеродными молекулами - антигенами, что помогает их обезвредить.
24. Апоптоз - запрограммированная смерть клеток.
25. Арахидоновая кислота - эйкозатетраеновая жирная кислота, входит в состав фосфолипидов, является источником эйкозаноидов (простагландины и др.).
26. Аргинин - протеиногенная, незаменимая, положительно заряженная аминокислота, содержащая в боковом радикале гуанидин.
27. Аспарагин - протеиногенная полярная аминокислота; амид аспарагиновой кислоты.
28. Аспарагиновая кислота - дикарбоновая протеиногенная аминокислота.
29. Аспирин (ацетилсалициловая кислота) - нестероидное противовоспалительное средство, необратимый ингибитор циклооксигеназы.
30. Ацетилхолин - сложный эфир уксусной кислоты и холина, является медиатором холинэргических нейронов коры головного мозга, двигательных нервах и постганглионарных нейронах парасимпатического звена вегетативной нервной системы.

31. Ацидоз - сдвиг кислотно-основного равновесия в кислую сторону, встречается при некомпенсированном сахарном диабете.
32. Аэробное окисление глюкозы - полное окисление глюкозы до CO_2 и H_2O , включает подготовительный этап - образование двух триоз, гликолитическую оксидоредукцию, окислительное декарбоксилирование пирувата и цикл трикарбоновых кислот.
33. α -спираль - разновидность вторичной структуры белка, в которой полипептидная цепочка закручивается в спираль шагом 3,6 аминокислотных остатка на виток спирали.
34. Белок - биополимер, состоящий из α , L- аминокислот.
35. Билирубин - продукт восстановления биливердина, пигмент красного цвета.
36. Биосинтез белка - процесс, включающий транскрипцию, активацию аминокислот, трансляцию и посттрансляционную модификацию белковых молекул.
37. Биотин - (витамин Н), входит в состав кофермента карбоксилаз биоцитина.
38. β -структура - разновидность вторичной структуры белка, в которой развёрнутые участки одной или нескольких полипептидных цепочек связываются друг с другом водородными связями.
39. Вазопрессин (антидиуретический гормон, АДГ) - образуется в нейросекреторных клетках гипоталамуса, поступает в заднюю долю гипофиза, откуда выделяется в кровь.
40. Валин - протеиногенная, неполярная, незаменимая аминокислота; служит одним из исходных веществ при биосинтезе пантотеновой кислоты (витамина В5).
41. Витамины - низкомолекулярные вещества, которые необходимы в чрезвычайно малых количествах для нормального развития и функционирования организма.
42. Водородный показатель - то же, что рН, отрицательный логарифм концентрации ионов водорода; $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$.
43. Вторичная структура белка - характеризует форму полипептидной цепи, которая может быть спиралевидной (α -структура), складчатой (β -структура) или неупорядоченной.

44. Высаливание - метод очистки белков, основанный на различной растворимости разных белков в растворах солей.

45. Высокоэнергетические соединения - природные вещества, содержащие богатые энергией (макроэргические) связи, при гидролизе которых выделяется более 15 кДж/моль энергии.

46. Гель-проникающая хроматография - вариант хроматографии, в котором разделение смеси веществ происходит по молекулярной массе (точнее, по размеру) их молекул благодаря различной способности молекул разного размера входить в поры, имеющиеся в гранулах нерастворимого сорбента.

47. Гем - небелковая часть (простетическая группа) гемоглобина, миоглобина, каталазы, пероксидазы и цитохромов.

48. Гемоглобин - гемсодержащий хромопротеин животных, способный обратимо связываться с кислородом, обеспечивая его перенос в ткани.

49. Гидрофильные вещества - вещества, молекулы которых вступают во взаимодействие с молекулами воды. Они или растворяются в воде, или смачиваются ею. Обычно это вещества с ионными или полярными ковалентными связями.

50. Гидрофобные вещества - вещества, молекулы которых почти не вступают во взаимодействия с молекулами воды. Они не растворяются в воде и не смачиваются ею. Обычно это вещества с неполярными ковалентными связями.

51. Гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ - основной минеральный компонент костной ткани, а также, эмали, дентина и цемента зуба.

52. Гидрофобное взаимодействие - притяжение между неполярными частицами в водной среде.

53. Гистоны - щелочные белки, связывающиеся с ДНК в клетках эукариот и образующие нуклеосомы.

54. Гликолиз - процесс распада глюкозы на трёхуглеродные органические кислоты, сопровождающийся синтезом АТФ из АДФ и неорганического фосфата в соотношении 2 моля АТФ на 1 моль глюкозы. При анаэробном гликолизе молекула глюкозы распадается на две молекулы молочной кислоты, а при аэробном – пировиноградной кислоты, которая затем подвергается дальнейшему окислению. Протекает в цитозоле.

55. Гликолипиды - липиды, ковалентно связанные с углеводными остатками.

56. Гликопротеины - белки с ковалентно присоединёнными углеводными остатками, обычно в гликопротеинах белок преобладает по массе над углеводами. Как правило, гликопротеины – секретируемые белки или белки наружной мембраны.

57. Глутатион - трипептид γ -глутамилцистеинилглицин. Синтезируется из L-цистеина, L-глутаминовой кислоты и глицина.

58. Глюкагон - гормон α -клеток островков Лангерганса поджелудочной железы.

59. Глюкоза крови - у детей до 14 лет 3,33 - 5,55 ммоль/л, у взрослых 3,89 - 5,83 ммоль/л, с 60 лет уровень глюкозы в норме возрастает до 6,38 ммоль/л.

60. Глюкозурия - наличие глюкозы в моче.

61. Глюконеогенез - синтез глюкозы из неуглеводных веществ, в первую очередь из молочной и пировиноградной кислот.

62. Гормоны - сигнальные молекулы, которые вырабатываются в железах или специализированных клетках внутренней секреции, выделяются в кровь, достигают клеток-мишеней и связываются с мембранными, цитоплазматическими или ядерными рецепторами.

63. Двумерный электрофорез - метод разделения смесей белков в электрическом поле, при котором сперва происходит разделение, основанное на различии изоэлектрических точек их молекул, а затем - на различии молекулярной массы.

64. Денатурация - потеря белком биологической активности из-за нарушения его четвертичной, третичной или вторичной структуры. Происходит под действием многих факторов – например, при повышении температуры, сильном закислении среды и др.

65. Дисульфидная связь - прочная ковалентная связь, образующаяся при окислении двух сульфгидрильных групп молекул цистеина. Участвует в образовании и стабилизации третичной структуры белка.

66. Диффузия - пассивное перемещение вещества из участка с большей концентрацией к участкам с меньшей концентрацией.

67. ДНК - дезоксирибонуклеиновая кислота, биополимер, состоящий из звеньев - дезоксирибонуклеотидов. ДНК выполняет функцию носителя наследственной информации у всех клеточных организмов. Последовательность нуклеотидов в ДНК определяет последовательность аминокислот в первичной структуре белков организма.

68. ДНК синтез - образование новых молекул ДНК на матрице ДНК родительской клетки.

69. Единицы активности фермента - 1) $E = 1 \text{ мкмоль/мин}$; 2) катал = 1 моль/с.

70. Железодефицитная анемия - нарушение синтеза гемоглобина вследствие дефицита железа.

71. Желтуха - желтушное окрашивание кожи и слизистых оболочек, обусловленное накоплением в тканях и крови билирубина.

72. Желчнокаменная болезнь - заболевание, при котором в желчном пузыре и желчевыводящих путях образуются камни.

73. Желчные кислоты - производные холановой кислоты, выполняющие роль эмульгаторов. Они также активируют панкреатическую липазу и выполняют роль мицеллообразующего фактора.

74. Жирные кислоты - алифатические одноосновные карбоновые кислоты, входящие в состав жиров; содержат, как правило, неразветвленную цепь из четного числа атомов углерода (C_4-24), и могут быть как насыщенными, так и ненасыщенными.

75. Жиры (триглицериды) - сложные эфиры глицерина и жирных кислот, входят в класс липидов. В живых организмах выполняют, энергетическую, защитную, резервную функции.

76. Изолейцин - протеиногенная алифатическая, неполярная, незаменимая α -аминокислота.

77. Изoeлектрическая точка - pI , значение pH , при котором молекула не несёт электрического заряда.

78. Изoeлектрофокусировка - метод разделения смесей белков в электрическом поле, основанный на различии изoeлектрических точек их молекул. В процессе проведения изoeлектрофокусировки создаётся градиент pH , и каждое вещество локализуется в зоне, где pH равен его изoeлектрической точке.

79. Иммуноглобулины (Ig) - глобулярные белки, продуцируются В-лимфоцитами и обладают свойствами антител, т.е. способностью соединяться с антигенами, стимулирующими их образование.

80. Ингибиторы - вещества, тормозящие химические реакции путём снижения активности ферментов.

81. Инсулин - гормон пептидной природы, образуется в β -клетках островков Лангерганса поджелудочной железы. Регулирует обмен веществ. Основное действие инсулина заключается в утилизации глюкозы.

82. Инсулиновый рецептор - трансмембранный белок, внешняя часть которого содержит центр распознавания сигнальной молекулы, а обращенный к цитоплазме фрагмент функционирует как фермент тирозинкиназа, катализирующий аутофосфорилирование.

83. Ионная связь - прочная химическая связь, образующаяся между атомами с большой разностью электроотрицательностей, при которой общая электронная пара полностью переходит к атому с большей электроотрицательностью.

84. Ионообменная хроматография - вариант хроматографии, в котором разделение смеси веществ происходит по заряду их молекул благодаря различной прочности их связывания с заряженными группами на поверхности нерастворимого сорбента.

85. Кальмодулин - Ca^{2+} -связывающий белок.

86. Кальциевые каналы - ионные каналы, избирательно проницаемые для ионов Ca^{2+} .

87. Кальциевый насос (Ca^{2+} -АТФ-аза) - обеспечивает поддержание низкой концентрации Ca^{2+} в цитозоле клетки и создание внутриклеточного депо Ca^{2+} в митохондриях и эндоплазматическом ретикулуме.

88. Кальцитриол - активная форма витамина D, контролирует обмен кальция и

89. Катаболизм - процесс расщепления какого-либо вещества на более простые, обычно протекает с высвобождением энергии (тепло, АТФ).

90. Кератин - белок промежуточных филаментов, содержащийся в эпителиальных клетках. Из кератина состоят волосы, шерсть, рога, копыта. Для кератина характерно наличие α -спирали во вторичной структуре.

91. Ключевой фермент - фермент, который катализирует самую медленную реакцию в метаболическом пути и таким образом определяет скорость всего процесса.

92. Коллаген - фибриллярный белок, составляющий основу соединительной ткани организма (сухожилие, кость, хрящ, дерма и т. п.) и обеспечивающий ее прочность и эластичность. Это основной компонент соединительной

ткани и самый распространенный белок млекопитающих, составляющий от 25 до 35% от суммы всех белков.

93. Коллагеназа - ферментный препарат, получаемый из поджелудочной железы скота; обладает протеолитической активностью преимущественно на коллагеновые волокна; способствует расплавлению рубцов и некротических тканей.

94. Константа равновесия - отношение произведения концентраций продуктов реакции к произведению концентраций субстратов реакции в состоянии равновесия.

95. Конформация - пространственная конфигурация белковой молекулы.

96. Кооперативность - изменение сродства к субстрату у остальных субъединиц ферментов, обладающих четвертичной структурой, после связывания субстрата с первыми субъединицами. Различают положительную кооперативность (увеличение сродства к субстрату) и отрицательную (уменьшение). У ферментов, обладающих кооперативностью, зависимость скорости реакции от концентрации субстрата отличается от уравнения Михаелиса.

97. Кофермент – низкомолекулярное соединение, необходимое для работы определенных ферментов. Часто коферменты синтезируются из витаминов.

98. Кортизол (гидрокортизон) - глюкокортикоидный гормон стероидной природы; секретируется корой надпочечников под воздействием адренокортикотропного гормона (АКТГ); стимулирует глюконеогенез, а также принимает участие в развитии стрессовых и иммунных реакций; благодаря своей липофильной природе легко проникает через клеточную мембрану в цитоплазму и ядро, где связывается со специфическими рецепторами.

99. Крахмал - смесь резервных полисахаридов растений; состоит из амилозы (30%) и амилопектина (70%), мономером которых является α -глюкоза.

100. Кребса цикл (цикл трикарбоновых кислот) - центральная часть общего пути катаболизма, циклический биохимический аэробный процесс, в ходе которого происходит окисление ацетилКоА до CO_2 и H_2O и освобождается энергия, эквивалентная 12 АТФ.

101. Лактат - конечный продукт гликолиза. В условиях покоя основной источник лактата в плазме - эритроциты. При физической нагрузке лактат

выходит из мышц и превращается в печени в глюкозу путём глюконеогенеза.

102. Лактатдегидрогеназа (L-лактат:NAD-оксидоредуктаза; КФ 1.1.1.27) - фермент, катализирующий последнюю реакцию гликолиза, а также обратную реакцию превращения лактата в пируват, при этом образуется NADH^+ и H^+ .

103. Лактоза (молочный сахар) - углевод группы дисахаридов, содержится в молоке и молочных продуктах. Молекула лактозы состоит из остатков молекул глюкозы и галактозы.

104. Лизин - 2,6-диаминокапроновая кислота; протеиногенная, незаменимая, положительно заряженная аминокислота.

105. Липиды - соединения небольшой молекулярной массы, плохо растворимые в воде, но хорошо растворяющиеся в органических растворителях. Содержатся во всех клетках. К липидам относят такие различные соединения, как фосфолипиды, нейтральные жиры, стероиды и воска. В организме выполняют структурную (входят в состав мембран), энергетическую и регуляторную функции.

106. Липаза - фермент класса гидролаз, катализирует расщепление и синтез сложных эфирных связей в триглицеридах.

107. Липопротеины - сложные белки, транспортные формы липидов в крови; состоят из аполипопротеинов (апо-ЛП) и липидов (жиров, холестерина, фосфолипидов).

108. ЛПНП - липопротеины низкой плотности, комплексы липидов и белков, образующиеся из ЛПОНП после усвоения содержащихся в них нейтральных жиров. Служат для доставки холестерина различным органам и тканям. Высокий уровень ЛПНП повышает вероятность развития атеросклероза.

109. ЛПОНП - липопротеины очень низкой плотности, комплексы липидов и белков диаметром 25–100 нанометров. Образуются в клетках печени из синтезируемых там липидов и белков. Секретируются в кровь, через неё доставляются другим органам и тканям.

110. Макроэрги - вещества, при гидролизе которых выделяется большое количество энергии.

111. Мальтоза - природный дисахарид, состоящий из остатков α ,D-глюкозы, соединённых α -гликозидными связями.

112. Метаболизм - обмен веществ, совокупность химических превращений веществ, протекающих в живых организмах.

113. Метаболический путь - последовательность химических превращений в организме определённого вещества.

114. Метгемоглобин - $\text{MtHb (Fe}^{3+})$ окисленная форма гемоглобина, не связывает кислород.

115. Метионин - протеиногенная незаменимая серосодержащая аминокислота.

116. Микросомальное окисление - детоксикация ксенобиотиков в гладких мембранах эндоплазматического ретикулума путём гидроксилирования монооксигеназами (цитохром P450 и B5).

117. Миоглобин - гемсодержащий хромопротеин, депонирующий кислород в мышечной ткани.

118. Миозин - белок, обеспечивающий вместе с актином мышечное сокращение.

119. Митохондрии - внутриклеточные органеллы, содержащие системы тканевого дыхания и окислительного фосфорилирования; имеют собственный геном.

120. Моноаминоксидазы - ФАД-содержащие оксидоредуктазы, катализирующие окислительное дезаминирование аминов при участии кислорода с образованием соответствующего альдегида или кислоты, пероксида водорода и аммиака.

121. Мочевая кислота - продукт обмена пуриновых оснований, синтезируется в печени и частично в кишечнике при участии ксантиноксидазы, выделяется с мочой.

122. Мочевина - конечный продукт обезвреживания аммиака, синтезируется в орнитинном цикле преимущественно в митохондриях печени, выводится с мочой.

123. Натрийуретический фактор - усиливает выведение из организма натрия.

124. Нейромедиаторы - биологически активные химические вещества, посредством которых осуществляется передача нервного импульса в синапсах.

125. Нейтральные жиры - класс соединений из группы липидов, представляющие собой сложные эфиры глицерина и трёх жирных кислот. Нейтральные жиры гидрофобнее фосфолипидов, они накапливаются в клетках в виде нерастворимых жировых включений и несут функцию запасаания питательных веществ.

126. Нуклеотид - мономер, из которого строятся нуклеиновые кислоты. В состав нуклеотида входят остаток сахара (дезоксирибозы или рибозы), азотистое основание, и остаток фосфорной кислоты. Из азотистых оснований в них содержатся аденин, гуанин, цитозин (и в дезоксирибонуклеотидах, и в рибонуклеотидах), а также тимин (только в дезоксирибонуклеотидах) или урацил (только в рибонуклеотидах).

127. Ограниченный протеолиз - один из механизмов регуляции активности ферментов, при котором происходит отрезание части белковой структуры, что ведёт к превращению неактивного предшественника в активный зрелый фермент.

128. Пептидная связь - вид амидной связи, возникающей при образовании белков и пептидов в результате взаимодействия α -аминогруппы ($-\text{NH}_2$) одной аминокислоты с α -карбоксильной группой ($-\text{COOH}$) другой аминокислоты.

129. Первичная структура белка - последовательность аминокислот, составляющая полипептидную цепь.

130. Пиримидиновые нуклеотиды - состоят из азотистых оснований: цитозина, урацила или тимина, углевода: рибозы или дезоксирибозы и остатка фосфорной кислоты; входят в состав ДНК или РНК.

131. Пируватдегидрогеназный комплекс - содержится в матриксе митохондрий, состоит из трёх ферментов и пяти коферментов, осуществляет окислительное декарбоксилирование пирувата - этап аэробного окисления глюкозы; продуктами процесса являются ацетил-КоА, CO_2 и НАДН и H^+ .

132. Подагра - заболевание, которое характеризуется отложением в различных тканях организма кристаллов солей мочевой кислоты (уратов); в основе лежит накопление мочевой кислоты в крови (гиперурикемия).

133. Полимеразная цепная реакция (ПЦР) - способ молекулярной диагностики, при котором используется увеличения малых концентраций фрагментов ДНК в биологическом материале.

134. Полисахариды - класс соединений из группы углеводов, биологические полимеры, состоящие из мономеров - моносахаридов. К полисахаридам относятся крахмал, гликоген, целлюлоза, хитин и др.

135. Порфибилиноген - пигмент, присутствующий в моче больных острой порфирией; вызывает ее потемнение даже при непродолжительном стоянии.

136. Постабсорбтивное состояние - период после завершения пищеварения до следующего приёма пищи.

137. Потенциал покоя - разность потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембраны невозбуждённой клетки.

138. Прионы - инфекционные белки, при заражении которыми возникают медленно развивающиеся необратимые поражения головного мозга. Прион имеет ту же последовательность аминокислот, что и соответствующий нормальный клеточный белок, но отличается от него пространственной структурой. Прион обладает способностью сообщать нормальному белку в клетке свою злокачественную конформацию.

139. Пролин (пирролидин- α -карбоновая кислота) - протеиногенная гетероциклическая иминокислота.

140. Простагландины - группа физиологически активных веществ, образующихся из арахидоновой кислоты; являются высокоспецифичными внутриклеточными регуляторами функций, обладают выраженным физиологическим эффектом.

141. Простетическая группа - небелковый компонент, связанный с белком, который выполняет важную роль в биологической активности соответствующего белка. Простетические группы могут быть органическими (витамины, углеводы, липиды) или неорганическими (например, ионы металлов).

142. Протромбин - белок плазмы крови человека и животных, гликопротеид, компонент системы свёртывания крови, предшественник фермента тромбина, стимулирующего формирование тромба.

143. РНК - рибонуклеиновая кислота, биополимер, состоящий из звеньев-рибонуклеотидов. В клетке имеется три разновидности РНК: матричная, рибосомальная и транспортная.

144. РНК-полимераза - фермент, осуществляющий транскрипцию РНК. У прокариот имеется одна разновидность РНК-полимеразы, у эукариот - три (для синтеза рРНК, мРНК и тРНК).

145. Стероиды - класс соединений из группы липидов, представляющие собой производные холестерина. К стероидам относятся гормоны медленного стресса глюкокортикоиды (кортизол, гидрокортизон); минералокортикоиды (альдостерон), уменьшающие выведение почками воды и ионов натрия из организма; половые гормоны (андрогены, эстрогены и прогестины).

146. Сульфаниламиды - антибактериальные лекарственные препараты, структурные аналоги ПАБК, конкурентно ингибирующие синтез фолата.

147. Сфингозин - двухатомный непредельный аминспирт, входящий в состав сфинголипидов; ингибитор превращения протромбина в тромбин.

148. Таурин - аминокислота, образующаяся из цистеина, входит в состав парных желчных кислот.

149. Транскрипция - синтез РНК на матрице ДНК в соответствии с принципом комплементарности.

150. Третичная структура белка - пространственная укладка одной полипептидной цепочки, стабилизируемая гидрофобными, ионными, водородными и дисульфидными связями.

151. Фенилкетонурия - наследственная олигофрения вследствие недостаточности фенилаланингидроксилазы.

152. Фермент - биологический катализатор. Почти все ферменты - белки, лишь очень небольшое число реакций в клетке катализируется РНК (некоторые биохимики предлагают называть ферментами только белковые катализаторы). Ферменты характеризуются высокой активностью, высокой специфичностью, способностью к денатурации при высоких температурах, некоторые - способностью регулироваться.

153. Ферритин - железосодержащий белок печени и других тканей, служит резервом железа в организме.

154. Фолиевая кислота - водорастворимый витамин, входящий в состав кофермента тетрагидрофолата, который участвует в синтезе пуриновых и пиримидиновых азотистых оснований; её недостаточность - причина анемии.

155. Фосфолипиды - бифильные вещества, в состав которых входят: глицерин или сфингозин, высшие жирные кислоты, остаток фосфорной кислоты и азотсодержащий спирт (этаноламин, холин, серин) или инозитол.

156. Фруктоза - моносахарид, гексоза, кетоза; входит в состав сахарозы, в свободном виде содержится в мёде.

157. Хиломикроны - комплексы липидов и белков диаметром 0,1-1 мкм. Они образуются в клетках тонкого кишечника из всасывающихся жирных кислот и глицерина пищи, а также из синтезируемых в самих клетках белков. Секретируется в лимфу, из которой поступают в кровоток, а затем усваиваются другими клетками организма.

158. Холестерол - (устаревшее название холестерин), производное гонана, синтезируется в печени из ацетил-КоА, является компонентом биологических мембран, идёт на синтез желчных кислот, витамина Д₃ и стероидных гормонов.

159. Хроматография - метод разделения смесей различных веществ в растворе, основанный на их различном сродстве к нерастворимому сорбенту.

160. Цикл Кребса - процесс окисления остатка уксусной кислоты в форме ацетил-КоА до CO₂ и H₂O. В ходе окисления одного остатка восстанавливаются 3 молекулы НАД⁺ и 1 молекула ФАД, которые затем поступают в дыхательную цепь как субстраты окислительного фосфорилирования, приводящего к синтезу АТФ. У эукариот протекает в митохондриях.

161. Цинга - болезнь, вызываемая острым недостатком витамина С (L-аскорбиновой кислоты).

162. Цистеин (α -амино- β -тиопропионовая кислота) - протеиногенная алифатическая, полярная, серосодержащая аминокислота.

163. Четвертичная структура белка - ассоциация отдельных белковых субъединиц. Для неё характерен кооперативный эффект и специализация субъединиц.

164. Электрофорез - метод разделения смесей различных веществ в электрическом поле, основанный на различной скорости движения молекул с разным зарядом и разной массой.

165. Электрохимический потенциал - градиент ионов H⁺ на внутренней мембране митохондрий, на мембранах тилакоидов, а также на наружной

мембране бактериальных клеток. Образуется благодаря выкачиванию этих ионов из матрикса митохондрий, стромы хлоропластов или цитоплазмы бактерий. У аэробных гетеротрофов получается за счёт энергии окисления различных веществ ферментами дыхательной цепи, у фотосинтетиков - за счёт энергии света. Энергия электрохимического потенциала используется для синтеза АТФ, активного транспорта ионов через мембрану, у бактерий ещё и для движения.

166. Эмульгирование жиров - образование мелкодисперсной стойкой эмульсии частиц жира в водной среде с помощью поверхностно активных веществ, роль которых в кишечнике выполняют желчные кислоты, образующиеся в печени.

167. Эндонуклеазы - ферменты класса гидролаз, расщепляющие внутренние фосфодиэфирные связи в полинуклеотидной цепи.

168. Эндопептидазы - протеолитические ферменты (пепсин, трипсин, химотрипсин), расщепляющие пептидные связи внутри пептидной цепи.

Список рекомендуемой литературы

1. Сабирова Р.А., Юлдашев Н.М. Биохимия: учебник. В 2-х томах. Т.1, Т. 2. – 2020.
2. Основы биохимии: учебное пособие/ под ред. Чернов Н.Н., Покровский В.С. – М.: Е-нот, 2024. – 392 с
3. Частная биохимия: учебное пособие/ под ред. Покровского В.С.– М.: Е-нот, 2020. – 368 с
4. Каримова Ш.Ф., Исмаилова Г.О., Юлдашев Н.М. Лабораторный практикум по биохимии: учебное пособие – Т.: “O’ZKITOBSAVDONASHRIYOTI” NMIU, 2022. – 204 с.
5. Биохимия: учебник / под ред. Е.С. Северина. — 5-е изд., испр. и доп. — М.: ГЭОТАР - Медиа, 2019. — 768 с.
6. Биологическая химия: Учебник / С.Е. Северин, Т.Л. Алейникова, Е.В. Осипов, С.А. Силаева. — 3-е изд., испр. — Москва: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2017. — 496 с.
7. Наглядная биохимия [Электронный ресурс] / Я. Кольман, К.-Г. Рём; пер. с англ. Т.П. Мосоловой. — 6-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 514 с.). — М.: Лаборатория знаний, 2019. — 512 с.
8. Биохимия: [учеб. пособие] / В.В. Емельянов, Н.Е. Максимова, Н.Н. Мочульская; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 132 с.
9. Биохимия: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-79 01 01 Лечебное дело, 1-79 01 02 Педиатрия, 1-79 01 04 Медико-диагностическое дело, 1-79 01 05 Медико-психологическое дело, 1-79 01 06 Сестринское дело / В.В. Лелевич [и др.] ; под ред. проф. В.В. Лелевича. – Гродно: ГрГМУ, 2022. – 401 с.
10. Медицинская биохимия: принципы измерительных технологий в биохимии: учебное пособие / Г.А. Суханова, Л.В. Спирина, Д.И. Кузьменко, О.Е. Акбашева; под ред. В.Ю. Сереброва. – Томск: Издательство СибГМУ, 2018. – 133 с/
10. Биологическая химия: учебник / А.Д. Таганович [и др.]; под общ. ред. А. Д. Тагановича. 2-е изд., исправленное. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 671 с.
11. Основы биохимии Ленинджера: в 3-х т. Т. 1. / Д. Нельсон, М. Кокс; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 694 с.

12. Основы биохимии Ленинджера: в 3-х т. Т. 2: Биоэнергетика и метаболизм / Д. Нельсон, М. Кокс; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 636 с.
13. Основы биохимии Ленинджера: в 3-х т. Т. 3: Пути передачи информации / Д. Нельсон, М. Кокс; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 448 с.