

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 18.01.2022 16:25:43
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)**

Кафедра товароведения, технологии и экспертизы товаров

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ О.Г. Локтионова

« » _____ 2022 г.

ФИЗИОЛОГИЯ ПИТАНИЯ

Методические указания по выполнению практических работ
для студентов направления 19.04.02 «Продукты питания из
растительного сырья»

Курск 2022

УДК:540

Составители: А.Г. Калужских

Рецензент

Кандидат биологических наук, доцент *А.Е. Ковалева*

Физиология питания: методические указания по выполнению практических работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.Г. Калужских. Курск, 2022. 80 с.: Библиогр.: с.80

Приводится перечень практических работ, цель их выполнения, контрольные вопросы, краткие теоретические сведения, задания, рекомендуемая литература.

Предназначены для студентов направления подготовки 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья» очной, заочной и сокращенной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Усл. печ. л.	Подписано в печать	Формат 60x84 1/16.	
	Уч.-изд. л.	Тираж 50 экз.	Заказ.
			Бесплатно.
	Юго-Западный государственный университет. 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическое занятие №1 Расчет биологической ценности белков, жиров углеводов, химического состава и пищевой ценности продуктов.	7
Практическое занятие №2 Строение белков. Физико-химические свойства белков и методы их разделения.	21
Практическое занятие №3 Особенности ферментов как белковых катализаторов. Активный центр: специфичность действия ферментов.	29
Практическое занятие №4 Механизм действия ферментов	38
Практическое занятие №5 Классификация ферментов. Кофакторы.	41
Практическое занятие №6 Взаимосвязь обмена веществ и энергии.	50
Практическое занятие №7 Общий путь катаболизма – основной источник доноров водорода для цепи переноса электронов.	52
Практическое занятие №8. Регуляция энергетического обмена	60
Практическое занятие №9 Определение физиологической потребности организма в энергии и основных пищевых веществах. Оценка пищевого статуса.	64
Список рекомендованной литературы	79

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению практических работ предназначены для студентов направления подготовки 19.04.02 «Технология продуктов питания из растительного сырья» с целью закрепления и углубления ими знаний, полученных на лекциях и при самостоятельном изучении учебной литературы.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта. Перечень практических работ, их объем соответствуют учебному плану и рабочей программе дисциплины. При подготовке к занятиям студенты должны изучить соответствующий теоретический материал по учебной литературе, приобрести теоретические и практические знания по вопросам безопасности продовольственного сырья и продуктов питания, и о медико-биологических требованиях и санитарных нормах качества пищевых продуктов, необходимых в различных сферах производственной деятельности в области технологии продуктов питания из растительного сырья.

Студенты должны ознакомиться с содержанием (теоретической частью) и порядком выполнения практического занятия.

Каждое занятие содержит цель его выполнения, рекомендуемые для изучения литературные источники, вопросы для подготовки, краткие теоретические сведения, задания для выполнения. При выполнении работ основным методом обучения является самостоятельная работа студентов под руководством преподавателя. Результаты выполненных каждым студентом заданий обсуждаются в конце занятий. Оценка преподавателем работы студента осуществляется комплексно: по результатам выполненного задания, устному сообщению и качеству оформления работы, что может быть учтено в рейтинговой оценке знаний студента.

Правила оформления работ

1. Отчеты по каждой теме занятия оформляются в отдельной тетради.
 2. Перед оформлением каждой работы студент должен четко написать ее название, цель выполнения, краткие ответы на вопросы для подготовки, объекты и результаты исследования. Если предусмотрено оформление работ в виде таблиц, то необходимо все результаты занести в таблицу в тетради. После каждого задания должно быть сделано заключение с обобщением, систематизацией или обоснованием результатов исследований.
 3. Каждую выполненную работу студент защищает в течение учебного семестра.
- Выполнение и успешная защита работ являются допуском к сдаче теоретического курса на экзамене.

Наименование работ	Объем, часов		
	очная	заочная	Сокращенная (по индивидуальному плану)
Практическое занятие №1 Расчет биологической ценности белков, жиров углеводов, химического состава и пищевой ценности продуктов.	4		
Практическое занятие №2 Строение белков. Физико-химические свойства белков и методы их разделения.	4		
Практическое занятие №3 Особенности ферментов как белковых катализаторов. Активный центр: специфичность действия ферментов.	4	2	2
Практическое занятие №4 Механизм действия ферментов	4	2	2
Практическое занятие №5 Классификация ферментов. Кофакторы.	4	2	2
Практическое занятие №6 Взаимосвязь обмена веществ и энергии.	4		
Практическое занятие №7 Общий путь катаболизма – основной источник доноров водорода для цепи переноса электронов.	4		
Практическое занятие №8. Регуляция энергетического обмена	4		
Практическое занятие №9 Определение физиологической потребности организма в энергии и основных пищевых веществах. Оценка пищевого статуса.			
Итого, час.	36	6	6

Практическое занятие №1

Расчет биологической ценности белков, жиров углеводов, химического состава и пищевой ценности продуктов.

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель работы: Изучить методы расчета биологической ценности белков, жиров углеводов, химического состава и пищевой ценности продуктов.

1. Теоретическая часть.

Хлеб, макаронные и кондитерские изделия являются основными поставщиками в организм человека углеводов, растительных белков, ряда витаминов и минеральных веществ, с некоторыми из этих продуктов поступает и значительное количество липидов. Однако, большинство белков неполноценно по аминокислотному составу, липиды - по составу жирных кислот, отсутствуют многие витамины, некоторые минеральные вещества. Возникает постоянная необходимость сочетания хлеба, макаронных и кондитерских изделий с другими продуктами питания, а также обогащение первых питательными веществами.

Для обеспечения полноценного рациона необходимо знать химический состав и пищевую ценность каждого пищевого продукта.

Пищевые продукты - продукты, используемые человеком в пищу в натуральном или переработанном виде. Все современные продукты питания делятся на четыре группы:

- продукты массового потребления традиционной технологии;
- продукты массового потребления с измененным химическим составом (витаминизированные, низкокалорийные и др.);

- диетические продукты - продукты с измененными химическим составом и физическими свойствами, специально созданные для лечебного и профилактического питания (с повышенным содержанием белков, пищевых волокон и др.);
- продукты детского питания, созданные для детей до 3-х летнего возраста.

Пищевая ценность - комплекс свойств пищевых продуктов, обеспечивающих физиологические потребности человека в энергии и основных пищевых веществах.

Биологическая ценность - показатель качества пищевого белка, отражающий степень соответствия его аминокислотного состава потребностям организма в аминокислотах для синтеза белка.

В 1973 году совместным решением Всемирной продовольственной организации (ФАО) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) введен показатель биологической ценности пищевых белков - *аминокислотный скор (АС)*. Пищевая ценность любого белка сравнивается с эталоном - эталонным (идеальным) белком, аминокислотный состав которого сбалансирован и идеально соответствует потребностям организма человека в каждой незаменимой аминокислоте. Скор аминокислоты может равняться 1,0 - при точном соответствии её содержания эталону, больше 1,0 - избыточное содержание, и меньше 1,0 - недостаточное содержание аминокислоты. Аминокислота, скор которой имеет **низкое значение**, называется *первой лимитирующей аминокислотой*.

Снабжение организма человека необходимым количеством аминокислот – основная функция пищевого белка. При этом 8 аминокислот (валин, лейцин, изолейцин, фенилаланин, триптофан, треонин, метионин, лизин) не могут синтезироваться в организме человека и должны поступать только в составе продуктов питания. Их называют незаменимыми или эссенциальными. Две аминокислоты (цистеин и тирозин) являются условно заменимыми, они в организме человека образуются из незаменимых аминокислот (метионина и фенилаланина соответственно) при достаточном поступлении последних с пищей. Для детского организма незаменимыми являются 10 аминокислот. К перечисленным восьми добавляются аргинин и гистидин. Для построения подавляющего большинства белков организма человека требуются все 20 аминокислот, причем

в определенных соотношениях. Более того, важно не столько достаточное количество каждой из незаменимых аминокислот, поступающих с пищей, сколько их соотношение, максимально приближенное к таковому в белках организма человека. Нарушение сбалансированности аминокислотного состава пищевого белка приводит к нарушению синтеза собственных белков, сдвигая динамическое равновесие белкового анаболизма и катаболизма в сторону преобладания распада собственных белков организма, в том числе белков- ферментов. Недостаток той или иной незаменимой аминокислоты лимитирует использование других аминокислот в процессе биосинтеза белка. Например, в составе тканевого белка валин, аргинин и триптофан содержатся в равных количествах (1:1:1), но если в пищевом рационе их соотношение составляет 1:1:0,5, то усвоение всех указанных аминокислот происходит по аминокислоте, содержащейся в минимальном количестве. Следствием этого является неполноценный синтез тканевого белка, а неусвоенные аминокислоты при накоплении в крови в повышенных дозах могут оказать токсическое действие. Кроме своей главной функции – участие в биосинтезе тканевых белков и ферментов – незаменимые аминокислоты выполняют еще и свои сугубо специфические функции. Так, лизин и гистидин связаны с процессом кроветворения, лейцин и изолейцин необходимы для нормальной работы щитовидной железы, фенилаланин – щитовидной железы и надпочечников, метионин оказывает влияние на обмен липидов, обеспечивает антитоксичную функцию печени и играет большую роль в деятельности нервной системы. Полноценность пищевого белка по аминокислотному составу может быть оценена при сравнении его аминокислотным составом «идеального белка»

Аминокислотный скор каждой незаменимой аминокислоты в «идеальном белке» принимают за 100 %, а в природном белке продукта либо в суммарном белке рациона определяют процент соответствия. Питание является полноценным по белку, если аминокислотный скор каждой незаменимой аминокислоты равен 100 %. Если скор хотя бы одной аминокислоты менее 100 %, то развитие организма задерживается и определяется той аминокислотой, скор которой минимален. Эта аминокислота называется первой лимитирующей. Если скор какой-либо аминокислоты больше 100 %,

питание считается избыточным. Избыток аминокислот организм переносит гораздо хуже, чем других пищевых веществ. **Коэффициент различия аминокислотного сора** (КРАС, %) показывает среднюю величину избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем сора какой-либо незаменимой аминокислоты: $\text{КРАС} = \frac{\text{сумма разностей между значением аминокислотного сора } i\text{-незаменимой аминокислоты и аминокислотным скором первой лимитирующей аминокислоты}}{n}$ / n - количество незаменимых аминокислот.

Биологическую ценность (БЦ) пищевого белка (%) определяют по формуле $\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС}$

Задание 1 Ознакомиться с таблицами химического состава пищевых продуктов

Таблица 1 Химический состав и энергетическая ценность (название продукта)

Пищевые вещества	Содержание
Вода, г	
Белки, г	
Жиры, г	
Углеводы, г: моно и дисахариды крахмал, декстрины пищевые волокна	
лактоза	
сахароза	
Органические кислоты, г	
Зола, г	
Минеральные вещества, мг:	
Na	
K	
Ca	
Mg	
P	
Fe	
Витамины, мг:	

В1	
В2	
РР	
А	
бета-каротин	
С	
Энергетическая ценность, кКал	

Задание 2 Провести расчет биологической ценности пищевых продуктов, определить аминокислотный скор белков.

Определение аминокислотного сора эссенциальных аминокислот белков (продукт)

Для определения аминокислотного сора (АС):

- вычисляют содержание аминокислот в г на 100 г белка;
- сравнивают содержание той или иной незаменимой аминокислоты с абстрактным белком по шкале FAO/ВОЗ.

Лимитирующими являются те незаменимые аминокислоты, скор которых меньше 1.

Биологическая ценность белков пищевых продуктов определяется по первой лимитирующей аминокислоте.

Таблица 2 Аминокислотная шкала FAO/ВОЗ

Незаменимая аминокислота	Содержание (мг) в 1 г «идеального белка»
Валин(Вал)	50
Лейцин(Лей)	70
Изолейцин (Иле)	40
Лизин (Лиз)	55
Метионин (Мет) + Цистеин (Цис)	35
Треонин (Тре)	40
Триптофан (Три)	10
Фенилаланин (Фен) + Тирозин (Тир)	60

Таблица 3 Состав незаменимых аминокислот в продуктах питания,
г /100 г съедобной части продукта

Вид продукта	Белок, %	Вал	Иле	Лей	Лиз	Мет + Цис	Тре	Три	Фен + Тир
Соя, бобы	34,9	2,09	1,81	2,67	2,09	1,07	1,39	0,45	2,67
Гречиха	13,3	0,68	0,50	0,83	0,67	0,40	0,51	0,19	0,76
Пшеница, зерно твердых сортов	13,0	0,58	0,52	0,97	0,34	0,37	0,37	0,14	1,04
Чечевица, зерно	24,0	1,27	1,02	1,89	1,72	0,51	0,96	0,22	2,02
Овес, хлопья	12,3	0,63	0,45	0,71	0,47	0,45	0,43	0,22	1,09
Горох, зерно	20,5	1,01	1,09	1,65	1,55	0,46	0,84	0,26	1,70
Рис белый длиннозерный	7,1	0,44	0,31	0,59	0,26	0,31	0,26	0,08	0,62
Фасоль белая, зерно	23,4	1,22	1,03	1,87	1,60	0,61	0,98	0,28	1,92
Ячмень	10,0	0,45	0,56	0,51	0,32	0,16	0,21	0,12	0,49
Перловка	9,3	0,49	0,46	0,49	0,49	0,12	0,32	0,10	0,46
Картофель	2,0	0,12	0,09	0,13	0,14	0,05	0,10	0,21	0,19
Грецкий орех	15,2	0,75	0,63	1,17	0,42	0,44	0,60	0,03	1,12
Яйцо куриное	12,7	0,77	0,60	1,08	0,90	0,67	0,61	0,17	1,10
Молоко коровье	3,2	0,19	0,19	0,32	0,26	0,14	0,15	0,20	0,28
Сыр твердый	26,8	1,41	1,15	1,78	1,75	1,47	1,07	0,05	2,17
Творог нежирный	18,0	0,99	1,00	1,85	1,45	0,81	0,80	0,79	1,58
Говядина 1 категории	18,6	1,04	0,78	1,48	1,59	0,74	0,80	0,18	1,36
Телятина	20,2	1,18	1,05	1,57	1,76	0,45	0,89	0,26	0,83
Свинина мясная	14,3	0,83	0,71	1,07	1,24	0,57	0,65	0,21	0,98
Кролики	21,1	1,06	0,86	1,73	2,20	0,85	0,91	0,19	0,86
Куры 1 категории	18,2	0,88	0,65	1,41	1,59	0,79	0,89	0,33	1,25
Индейки 1 категории	21,6	1,02	1,03	1,81	1,93	0,88	0,96	0,29	1,44
Колбаса докторская	12,8	0,67	0,55	0,91	0,95	0,30	0,53	0,35	0,86
Сосиски молочные	11,4	0,63	0,31	0,76	0,84	0,18	0,36	0,15	0,62
Треска	16,0	0,90	1,50	1,30	1,50	0,85	0,90	0,20	1,36
Минтай	15,9	0,90	1,10	1,30	1,80	1,02	0,90	0,21	1,19
Морской окунь	18,2	1,00	1,10	1,60	1,70	0,85	0,90	0,20	1,19
Сельдь атлантическая	19,0	0,98	0,94	1,40	1,62	0,90	0,79	0,17	1,15
Кальмары	18,0	0,50	0,43	2,07	2,01	0,88	0,65	0,18	0,37
Мука пшеничная 1 сор- та	10,6	0,51	0,53	0,88	0,29	0,27	0,33	0,32	0,98
Хлеб ржаной	5,5	0,29	0,21	0,36	0,19	0,10	0,18	0,07	0,52
Хлеб пшеничный из муки 1 сорта	8,4	0,38	0,30	0,54	0,23	0,23	0,27	0,10	0,66

Батоны нарезные из муки 1 сорта	7,4	0,33	0,29	0,55	0,16	0,20	0,21	0,09	0,67
---------------------------------------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

Пример 1. рассчитать аминокислотный скор по лизину для хлеба из пшеничной муки высшего сорта.

Для этого в таблице химического состава пищевых продуктов находим содержание лизина в хлебе из пшеничной муки высшего сорта. Содержание лизина - 189 мг на 100 г продукта. Для расчета АС необходимо пересчитать эту величину в г на 100 г белка.

Из **таблицы химического состава** выписываем содержание белка в 100 г хлеба из пшеничной муки высшего сорта. Так, содержание белка в хлебе из пшеничной муки высшего сорта - 7,59 г на 100 г хлеба.

$$\begin{array}{rcl} \text{Следовательно, } 7,59 \text{ г} & - & 0,189 \text{ г} \\ & & \\ & & 100 \text{ г} & - & \text{х г} \\ & & \text{х} = 2,49 & \text{ г} \end{array}$$

Сравниваем полученное значение с содержанием лизина в эталонном белке по шкале FAO/ВОЗ.

$$\begin{array}{l} AC = 0,45 \\ 2,49 : 5,5 \end{array}$$

Таким образом, лизин является лимитирующей аминокислотой для хлеба из пшеничной муки высшего сорта, так как скор по данной аминокислоте меньше 1.

Аналогично производится расчет по всем незаменимым аминокислотам.

Пример 2: рассчитать аминокислотный скор по валину для для какао бобов.

Для этого в таблице химического состава пищевых продуктов находим содержание валина в какао бобах. Содержание валина - 550мг на 100 г продукта. Для расчета АС необходимо пересчитать эту величину в г на 100 г белка.

Из таблицы химического состава выписываем содержание белка в 100 г какао бобов. Так, содержание белка в 100 г какао бобов 12,9г на 100 г продукта.

Следовательно

$$\begin{array}{rcl} 12,9 \text{ г} & - & 0,550 \text{ г} \\ 100 \text{ г} & - & x \text{ г} \\ x=4,26 \text{ г} \end{array}$$

Сравниваем полученное значение с содержанием лизина в эталонном белке по шкале FAO/ВОЗ. $AC = 0,85 \quad 2,49:5,0$

Таким образом, валин является лимитирующей аминокислотой для какао бобов, так как скор по данной аминокислоте меньше 1.

Аналогично производится расчет по всем незаменимым аминокислотам исследуемого продукта

Таблица 4

Расчет аминокислотного сора (АС)	Пересчет содержания каждой аминокислоты на 100 г белка
АС лизин	100 г --- x г ... г — ... г x=
АС треонин	100 г --- x г ... г — ... г x=
АС триптофан	100 г --- x г ... г — ... г x=
И.т.д метионин+цистин фенилаланин+тирозин валин, лейцин, изолейцин	100 г --- x г ... г — ... г x=

Таблица 5

Незаменимые аминокислоты	Содержание аминокислоты			Аминокислотный скор(АС)
	Эталонный белок	(название продукта)		
		г на 100 г белка	г на 100 г продукта		на 100 г белка
Лизин	5,5			
Треонин	4,0			
Триптофан	1,0			
Метионин+цистин	3,5			
Фенил ала-	6,0			

нин+тирозин				
Валин	5,0			
Лейцин	7,0			
Изолейцин	4,0			

Сравнение биологической ценности белков различных групп пищевых продуктов

Таблица 6

№	Наименование пищевого продукта	Содержание аминокислот	лимитирующих

Задание 3 Определение коэффициента биологической эффективности липидов

Биологическая эффективность - показатель качества жировых компонентов пищевых продуктов, отражающий содержание в них полиненасыщенных жировых кислот.

Биологическая эффективность липидов, определяемая структурными характеристиками жирных кислот, а также их соотношением между собой и другими пищевыми компонентами, характеризуется как комплексный показатель, учитывающий их воздействие на организм человека.

Принято, что на 100 г липидов, необходимых в ежедневном рационе человеку, на долю полиненасыщенных жирных кислот

(ПНЖК) F_{01} - 6 г, на долю насыщенных жирных кислот (НЖК) F_{02} приходится 20 г, на долю олеиновой кислоты F_{03} - 35 г.

«Идеальный» (эталонный) липид представляет собой гипотетический продукт, содержащий ПНЖК, НЖК и олеиновую кислоту в необходимой пропорции, коэффициент биологической эффективности которого равен 1.

Как и аминокислотный скор белков скор для липидов определяется как отношение количества конкретной жировой фракции в исследуемом продукте к количеству этой же фракции в -идеальном липиде.

Для определения коэффициента биологической эффективности липидов: из таблицы химического состава пищевых продуктов находят содержание фракций - F_{ij} - НЖК (F_{11}), ПНЖК (F_{12}), олеиновой кислоты (F_{13}), которое приведено в г на 100 г продукта;

пересчитывают содержание фракций (НЖК, ПНЖК и олеиновой кислоты) в г на 100 г липидов;

рассчитывают скоры для фракций (НЖК, ПНЖК и олеиновой кислоты) - C_{ij} (C_{11} , C_{12} , C_{13});

определяют коэффициент биологической эффективности липидов ψ , принимая $C_{ik}=C_{13}$.

Пример: расчет коэффициента биологической эффективности липидов хлеба столового из смеси муки ржаной обдирной и пшеничной второго сорта, массой 0,93 кг, подового.

Находим в таблице химического состава пищевых продуктов содержание фракций НЖК, ПНЖК и олеиновой кислоты в хлебе столовом, которое приведено в г на 100 г продукта. Так содержание НЖК (F_{11}) - 0,17 г на 100 г продукта, ПНЖК (F_{12}) - 0,46 г на 100 г продукта, олеиновой кислоты (F_{13}) - 0,15 г на 100 г продукта.

Далее, необходимо пересчитать эти величины в г на 100 г липидов. Из таблицы химического состава выписываем содержание липидов в хлебе столовом - 1,2 г.

$$F_{11} 1,2 \text{ г} \text{ — } 0,17 \text{ г.}$$

$$100 \text{ г} \text{ — } X \text{ г.}$$

$$X_1 = 14,17 \text{ г}$$

$$F_{12} 1,2 \text{ г} \text{ — } 0,46 \text{ г}$$

$$100 \text{ г} \text{ — } X \text{ г}$$

$$X_1 = 38,33 \text{ г}$$

$F_{13} 1,2 \text{ г} — 0,15 \text{ г}$

$100 \text{ г} — X \text{ г}$

$X_1 = 15,5 \text{ г}$

Рассчитываем скоры для фракций липидов C_{11}, C_{12}, C_{13}

$C_{11} = F_{11}/F_{01} = 1,917; C_{12} = F_{12}/F_{02} = 2,362; C_{13} = F_{13}/F_{03} = 0,357$

Сумма скоров ($C_{11} + C_{12} + C_{13}$) = 4,636

Таблица 7

Липиды и их фракции	Идеальный липид, г на 100 г липидов		Хлеб столовый			Скор фракций липидов
			г на 100 г продукта	г на 100 г липидов		
	F_{ij}	C_{0j}		F_{ij}	C_{ij}	C_{ik}
Сумма липидов	100,0	...	1,2	100,0	...	
Содержание НЖК	20,0	1,0	0,17	14,17	1,917	0,357
Содержание ПНЖК	6,0	1,0	0,46	38,33	2,362	0,357
Содержание олеиновой кислоты	35,0	1,0	0,15	12,5	0,357	0,357
Сумма скоров	...	...	...	...	4,632	1,071

В соответствии с положением об усвоении липидов по минимальному уровню любой из фракций, рассчитаем коэффициент биологической эффективности липидов ψ хлеба столового, принимая, что, $C_{ik} = C_{13}, \psi = (3 \times C_{13}) / (C_{11} + C_{12} + C_{13}) = 0,23$

Задание 4 Провести расчет коэффициента биологической эффективности липидов для халвы подсолнечной используя пример и данные таблицы 8 результаты записать в таблицу 8

Таблица 8

Липиды и их фракции	Идеальный липид, г на 100 г липидов		халва подсолнечная			Скор фракций липидов
			г на 100 г продукта	г на 100 г липидов		
	F_{ij}	C_{0j}		F_{ij}	C_{ij}	C_{ik}
Сумма липидов	100,0	...	0,029			
Содержание НЖК	20,0	1,0	0,003			
Содержание ПНЖК	6,0	1,0	0,019			
Содержание олеиновой кислоты	35,0	1,0	0,006			
Сумма скоров	...	...	...

Задание 5 Провести расчет коэффициента биологической эффективности липидов для макаронных изделий используя пример и данные таблицы 9, результаты записать в таблицу 9

Таблица 9

Липиды и их фракции	Идеальный липид, г на 100 г липидов		макаронные изделия		Скор фракций липидов
			г на 100 г продукта	г на 100 г липидов	

			F_{ij}	C_{ij}	C_{ik}
	F_{ij}	C_{0j}			
Сумма липидов	100,0	...	27,60		
Содержание НЖК	20,0	1,0	0,76		
Содержание ПНЖК	6,0	1,0	0,49		
Содержание олеиновой кислоты	35,0	1,0	0,81		
Сумма скоров	...	...	...

Задание 6 Сравнить биологическую эффективность липидов пищевых продуктов, результаты записать в таблицу 10

Таблица 10

№	Наименование пищевого продукта	ψ
1.		
2.		
3.		

Задание 7 Провести расчет энергетической ценности продукта, определенного в задании 1 (таблица 1)

Энергетическая ценность - количество энергии (ккал, кДж), высвобождаемой в организме человека из пищевых веществ продуктов питания для обеспечения его физиологических функций.

Для расчета энергетической ценности пищевого продукта необходимо знать его химический состав и энергетическую ценность пищевых веществ.

Энергетическую ценность (ЭЦ) пищевого продукта рассчитывают по формуле:

$ЭЦ = Б \times 4,0 + Ж \times 9,0 + У \times 4,0 + ОК \times 3,0$, где. ЭЦ - энергетическая ценность 100 г пищевого продукта, ккал;

Содержание в г/100 г продукта: Б - белков, Ж - жиров, У - углеводов, ОК – органических кислот; Количество кКал образующихся при сгорании пищевых веществ: Б - 4,0; Ж - 9,0; У = 4,0;

О.К. = 3,0.

При необходимости получения результатов в кДж общее количество кКал умножается на коэффициент 4,184. ЭЦ выражается в целых единицах. Содержание основных пищевых веществ по выбранному продукту приведены в таблице 1.

Наименование пищевого продукта	Основные пищевые вещества, г на 100 г продукта					Энергетическая ценность, кКал
	Белки	Жиры	Орган. кислоты	Углеводы		
				крахмал и декстрины	Моно- и дисахариды	

Контрольные вопросы

1. Какие органические вещества относят к классу белков?
2. Как классифицируют белковые вещества?
3. Какие биологические функции белков Вы знаете? Охарактеризуйте каждую из них.
4. Назовите незаменимые аминокислоты. Чем они отличаются от заменимых?
5. Что такое белково-калорийная недостаточность? Каковы ее последствия?
6. Что такое "идеальный" или "эталонный" белок по шкале ФАО/ВОЗ?
7. Как определяется биологическая ценность пищевых продуктов?

8. Как рассчитать аминокислотный скор по какой-либо незаменимой кислоте? Что означает понятие "лимитирующая" аминокислота?

9. Какова суточная норма потребления белка для взрослого человека?

Практическое занятие №2

Строение белков. Физико-химические свойства белков и методы их разделения

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель работы изучить строение белков и физико-химические свойства белков и методы их разделения

Строение белков

В живых клетках синтезируется множество молекул, среди которых главную роль, определяющую особенности структуры и функций данной клетки, играют полимерные макромолекулы — белки, нуклеиновые кислоты, углеводы.

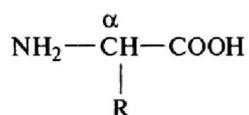
В первую очередь специфические особенности строения и функционирования каждой клетки определяются набором синтезирующихся в ней белков. Белки — это полимеры, содержащие в своем составе всего 20 из нескольких сот известных в природе аминокислот. Пептидные связи соединяют аминокислоты в структуру, называемую пептидной цепью белка.

Пептидные цепи содержат десятки, сотни и тысячи аминокислотных остатков. За счет внутримолекулярных взаимодействий белки образуют определенную пространственную структуру. В результате молекулы большинства белков имеют форму, близкую к шаровидной (глобулярные белки). Молекулы некоторых белков образуют волокнистые структуры (фибрилярные белки).

На поверхности или в углублении трехмерной молекулы белков формируются участки, способные специфично соединяться с другими молекулами — лигандами. Эти участки связывания белков с лигандами определяют особенности функционирования индивидуальных белков.

В организме человека содержится около 50 000 индивидуальных белков. Каждый индивидуальный белок отличается от всех других индивидуальных белков по структуре и функциям. Общее содержание белков в организме взрослого человека равно примерно 15 кг.

1. Аминокислоты, входящие в белки. Пептидная связь. В состав белков входят 20 α-аминокислот, общая формула которых:

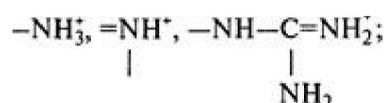


2. Аминокислоты различаются по строению, размерам, физико-химическим свойствам радикалов, присоединенных к α-углеродному атому. Функциональные группы аминокислот определяют особенности свойств разных α-аминокислот.

В α-аминокислотах можно выделить:

анионные группы: —COOH;

катионные группы:

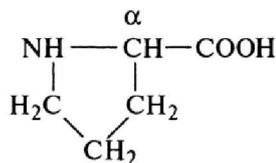


полярные незаряженные группы:

—OH, —CONH₂, —SH;

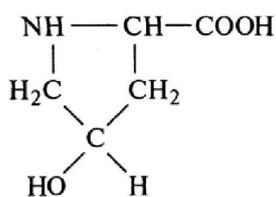
неполярные группы: —CH₃, алифатические цепи, ароматические циклы.

Пролин в отличие от других 19 мономеров белков не аминокислота, а иминокислота, радикал в пролине связан как с α-углеродным атомом, так и с аминогруппой.

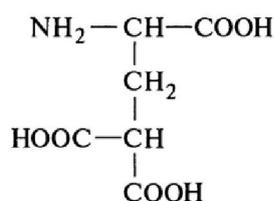


Пролин

Некоторые функциональные группы в радикалах аминокислот появляются после синтеза белка.



4-Гидроксипролин



γ-Карбоксиглутаминовая кислота

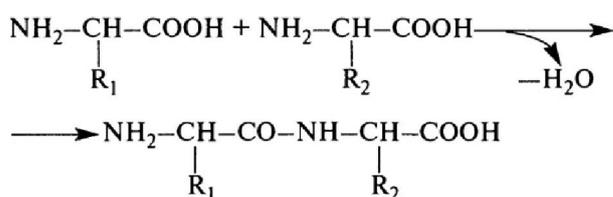
Аминокислоты различаются по их растворимости в воде. Это связано со способностью радикалов взаимодействовать с водой (гидратироваться).

К гидрофильным относятся радикалы, содержащие анионные, катионные и полярные незаряженные функциональные группы.

К гидрофобным относятся радикалы, содержащие металльные группы, алифатические цепи или циклы.

Пептидные связи соединяют аминокислоты в пептиды, α-Карбоксильная

группа одной аминокислоты может реагировать с α-аминогруппой другой аминокислоты с образованием **пептидной связи**.



Пептидные цепи белков представляют собой полипептиды, т.е. линейные полимеры α-аминокислот, соединенных пептидной связью (рисунок 1)



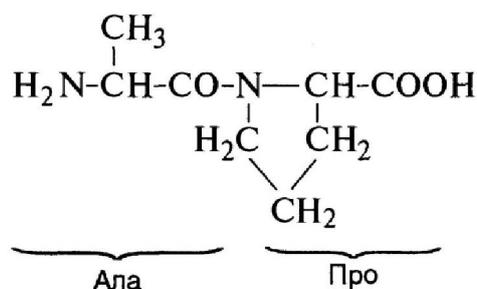
Рисунок 1. Структура пептидной цепи

Мономеры аминокислот, входящих в состав полипептидов, называются **аминокислотными остатками**. Цепь повторяющихся групп — NH—CH—CO— называется **пептидным остовом**.

Аминокислотный остаток, имеющий свободную α-аминогруппу, называется N-концевым, а имеющий свободную α-карбоксильную группу — C-концевым. Пептиды пишутся и читаются с N-конца.

Пептидная связь, образуемая иминой группой пролина, отличается от других пептидных связей: у атома азота пептидной группы отсутствует водород, вместо него имеется связь с радикалом.

Пептиды различаются количеством аминокислот, аминокислотным составом и порядком соединения аминокислот. Сер—Ала—Глу—Гис и Гис—Глу—Ала—Сер — два разных пептида.



Аланилпролин

Пептидные связи очень прочные, и для их химического не

ферментативного гидролиза требуются жесткие условия: высокие температура и давление, кислая среда и длительное время.

В живой клетке, где нет таких условий, пептидные связи могут разрываться с помощью протеолитических ферментов, называемых протеазами или пептидгидролазами. Наличие пептидных связей в белке можно определить с помощью биуретовой реакции. Свободное вращение в пептидном остове возможно между атомом азота пептидной группы и соседним α -углеродным атомом, а также между α -углеродным атомом и углеродом карбонильной группы. Благодаря этому линейная структура может приобретать более сложную пространственную конформацию.

Задание 1

Заполните таблицу 1

Таблица 1 Классификация аминокислот по полярности радикалов

Свойства радикала	Полное и сокращенное название аминокислоты	Строение аминокислот	Название функциональных групп
<p><i>Гидрофобные</i></p> <p><i>Гидрофильные:</i></p> <p>незаряженные, анионные, катионные</p>			

Задание 2

2.1 Напишите формулу пентапептида: Асп—Вал—Глу—Фен-

Лиз.

2.2 Выделите в пептиде повторяющиеся группы, образующие пептидный остов, и переменные группы, представленные радикалами аминокислот.

2.3 Обозначьте в пептиде N- и C-концы.

2.4 Подчеркните пептидные связи.

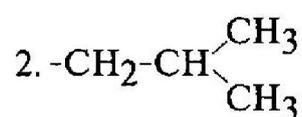
2.5 Напишите другой пептид, состоящий из тех же аминокислот.

Задание 3

Укажите аминокислоты, которым принадлежат следующие радикалы:

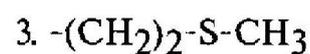


А. Про.

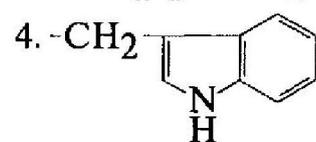


Б. Глу.

В. Тир.



Г. Мет.



Д. Глн.

Е. Лей.

Ж. Тр.

Задание 4 Классифицируйте аминокислоты по полярности радикалов:

1. Иле.
 2. Асн.
 3. Глу.
 4. Гис.
 5. Сер.
- А. Полярная с катионной группой.
Б. Полярная с анионной группой.
В. Полярная незаряженная.
Г. Неполярная.

Физико-химические свойства белков и методы их разделения

Индивидуальные белки различаются по физико-химическим свойствам:

- 1) форме молекул;
- 2) молекулярной массе;
- 3) суммарному заряду, величина которого зависит от соотношения анионных и катионных групп аминокислот;
- 4) соотношению полярных и неполярных радикалов аминокислот на поверхности молекул;
- 5) степени устойчивости к воздействию различных денатурирующих агентов

Растворимость белков зависит:

- от перечисленных выше свойств белков;
- от состава среды, в которой растворяется белок (величины рН, солевого состава, температуры, наличия других органических веществ, способных взаимодействовать с белком).

Величина заряда белков — один из факторов, увеличивающий их растворимость. При потере заряда в изоэлектрической точке белки легче агрегируют и выпадают в осадок. Это особенно характерно для денатурированных белков, у которых на поверхности появляются

гидрофобные радикалы аминокислот.26

На поверхности белковой молекулы имеются как положительно, так и отрицательно заряженные радикалы аминокислот.

Количество этих групп, а следовательно, и суммарный заряд белков зависят от рН среды, т.е. соотношения концентрации H^+ - и OH^- -групп.

В кислой среде увеличение концентрации H^+ приводит к подавлению диссоциации карбоксильных групп $COO^- + H^+ \rightarrow COOH$ и уменьшает отрицательный заряд белков.

В щелочной среде связывание избытка OH^- с протонами, образующимися при диссоциации аминогрупп $—NH_3^+ + OH^- \rightarrow —NH_2 + H_2O$ с образованием воды, приводит к уменьшению положительного заряда белков.

Значение рН, при котором белок имеет суммарный нулевой заряд, называется изоэлектрической точкой (ИЭТ).

В ИЭТ количество положительно и отрицательно заряженных групп одинаково, т.е. белок находится в изоэлектрическом состоянии.

РАЗДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ БЕЛКОВ

Особенности строения и функционирования организма зависят от набора белков, синтезирующихся в нем. Изучение строения и свойств белков невозможно без их выделения из клетки и очистки от других белков и органических молекул.

Стадии выделения и очистки индивидуальных белков:

1. Разрушение клеток изучаемой ткани и получение гомогената.
2. Разделение гомогената на фракции центрифугированием, получение ядерной, митохондриальной, цитозольной или иной фракции, содержащей искомый белок.
3. Избирательная тепловая денатурация - кратковременное нагревание раствора белков, при котором можно удалить часть денатурированных белковых примесей (в том случае, если белок относительно термостабилен).
4. Высаливание. Различные белки выпадают в осадок при разной концентрации соли в растворе. Постепенно повышая ее концентрацию, можно получить ряд отдельных фракций с преимущественным содержанием выделяемого белка в одной из них. Наиболее часто для фракционирования белков используют сульфат аммония. Белки с наименьшей растворимостью выпадают в осадок при небольшой концентрации солей.
5. Гель-фильтрация — метод молекулярного просеивания молекул через набухшие гранулы сефадекса (трехмерные полисахаридные цепи декстрана, имеющие поры). Скорость прохождения белков через колонку, заполненную сефадексом, будет зависеть от их молекулярной массы: чем меньше масса молекул, тем легче они проникают внутрь гранул и дольше там задерживаются, чем больше масса, тем быстрее они элюируются с колонки.

6. Ультрацентрифугирование — метод, заключающийся в том, что белки в центрифужной пробирке помещают в ротор ультрацентрифуги. При вращении ротора скорость оседания белков пропорциональна их молекулярной массе: более тяжелые белки образуют фракции, расположенные ближе ко дну кюветы, более легкие — к поверхности.

7. Электрофорез — метод, в основе которого лежат различия в скорости движения белков в электрическом поле. Эта величина пропорциональна заряду белков. Электрофорез белков проводят на бумаге (где скорость движения белков пропорциональна только их заряду) или в полиакриламидном геле, имеющем определенную величину пор (скорость движения белков пропорциональна их заряду и молекулярной массе).

8. Ионообменная хроматография - метод фракционирования, основанный на связывании ионизированных групп белков с противоположно заряженными группами ионообменных не растворимых полимеров. Прочность связывания белка со смолой пропорциональна заряду белка. Белки, адсорбированные на ионообменном полимере, можно смыть возрастающими концентрациями NaCl; чем меньше заряд белка, тем меньшая концентрация NaCl потребуется, чтобы смыть белок, прикрепленный к ионогенным группам смолы.

9. Аффинная хроматография — наиболее специфический метод выделения индивидуальных белков. К инертному полимеру ковалентно присоединяется лиганд какого-либо белка. При пропускании раствора белков через колонку с полимером за счет комплементарного связывания белка с лигандом на колонке адсорбируется только специфичный для данного лиганда белок.

10. Для удаления низкомолекулярных соединений из раствора выделяемого белка применяют диализ. Метод основан на неспособности белков проходить через полупроницаемую мембрану, легко пропускающую низкомолекулярные вещества, в

частности соли. Применяется для очистки белков от низкомолекулярных примесей, например, от солей после высаливания.

Задание 1

1. Определите суммарный заряд пентапептида при pH 7,0: Глу-Арг-Лиз-Вал-Асп. Как изменится суммарный заряд этого пептида: а) при $\text{pH} < 7,0$; б) при $\text{pH} > 7,0$.

Задание 2

2. Определите ИЭТ пептидов ($>$, $<$ или $=7,0$):

а) Про-Лиз-Тир-Глн-Три;

б) Ала-Сер-Глу-Асп-Мет.

Задание 3

3. Сравните направление движения в электрическом поле двух пептидов при pH 7,0 (к катоду или аноду):

а) Вал—Глу—Ала; б)

Лей—Асп—Арг.

Задание 4

28

4. Сравните растворимость двух пептидов при pH 7,0: Сер—Цис—Глу-Тир-Асп;
Вал—Арг—Мет-Фен-Тир.

Задание 5

5. В ядерных белках-гистонах содержится большое количество аминокислотных остатков аргинина и лизина, а в белке крови альбумине — много остатков глутаминовой и аспарагиновой кислот. Ответьте на вопросы:

а) в каких средах ($>$, $<$ или $=7,0$) лежит ИЭТ этих белков? б) с каким из 2 белков может взаимодействовать Ca^{2+} ?

Задание 6

Подберите к пронумерованному методу разделения и очистки белков их соответствующие свойства, на которых основан данный метод:

А. Различия по величине заряда. Б.

Различия по молекулярной массе.

В. Оба.

Г. Ни один.

1. Гель-фильтрация.

2. Электрофорез в полиакриламидном геле.

3. Аффинная хроматография.

4. Ионообменная хроматография.

2.

А. Ультрацентрифугирование.

В. Б. Гель-фильтрация.

С. Электрофорез в полиакриламидном геле.

Г. Ионообменная хроматография.

Д. Аффинная хроматография.

1. Используется для отделения белка от соли.

2. Метод основан на присоединении белка к иммобилизованному лиганду.

3. В основе метода лежит использование различий в молекулярной массе и заряде белков.

2. Выберите методы, с помощью которых можно разделить смесь белков на индивидуальные белки; укажите физико-химические свойства белков, лежащие в основе каждого метода.

Название белка	Молекулярная масса, Д	ИЭТ
Церулоплазмин	151000	4,4
у-Глобулин	150 000	6,3

Р-Лактальбумин	29 37 000	5,2
----------------	--------------	-----

Практическое занятие №3
Особенности ферментов как белковых катализаторов.
Активный центр: специфичность действия ферментов.

1. Ферменты, или энзимы (E), - это белковые катализаторы, ускоряющие реакции в клетке.

Общее число видов ферментов, вероятно, приближается к 10000. В это число входят не только ферменты, катализирующие 2000—3000 реакций обмена, но также и ферменты, вовлеченные в передачу сигнала, процесс дыхания, мышечное сокращение, свертываемость крови, транспорт веществ, обезвреживание токсичных и чужеродных соединений, нейротрансмиссию.

Ферменты имеют белковую природу, однако обнаружена способность некоторых молекул РНК осуществлять автокатализ. Такие РНК получили название «рибозимы».

2. Ферменты катализируют превращение веществ, которые называются **субстратами (S)**, в **продукты (P)**. В общем виде ферментативную реакцию можно записать так:



3. Как и другие химические катализаторы, ферменты:

- **увеличивают скорость реакции**, но не расходуются в ходе процесса и не претерпевают необратимых изменений;
- **не изменяют состояние равновесия химической реакции**, ускоряя как прямую, так и обратную реакцию в равной степени;
- **повышают скорость реакции, понижая энергию активации**, тот энергетический барьер, который отделяет одно состояние системы от другого.

Пример 1. Катализатор изменяет путь, по которому протекает реакция.

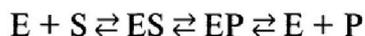
Рис. 2.1. показывает, что:

- распределение общей энергии между молекулами описывается колоколообразной кривой;
- катализатор снижает энергию активации, изменяя путь, по которому протекает реакция, не влияя при этом на полное изменение свободной энергии;
- вершина энергетического барьера соответствует переходному

состоянию;

30

при ферментативном катализе образованию продуктов предшествует образование **фермент-субстратного комплекса (ES-комплекс)**, который через переходное состояние превращается в комплекс фермент-продукты (EP-комплекс), после чего происходит высвобождение продуктов. В общем виде уравнение ферментативного катализа записывается так:



4. Ферменты отличаются от небиологических катализаторов следующими свойствами:

— **высокой эффективностью действия** - скорость ферментативных реакций обычно в 10^6 - 10^{12} раз выше, чем соответствующих неферментативных реакций;

— **высокой специфичностью действия** - способностью выбирать определенный субстрат и катализировать специфическую реакцию. Для ферментов характерна как высокая субстратная специфичность, так и специфичность пути превращения. Благодаря действию ферментов реакции в клетке не беспорядочны, не перепутываются, а образуют строго определенные метаболические пути;

— **мягкими условиями протекания ферментативных реакций:** температура $37\text{ }^\circ\text{C}$, нормальное атмосферное давление, pH, близкое к нейтральному. В противоположность этому для эффективного химического катализа часто требуются высокие температура и давление, а также экстремальные значения pH;

способностью к регуляции.

Каталитическая активность многих ферментов может изменяться в зависимости от концентрации веществ-регуляторов больше, чем в зависимости от концентрации их субстратов. Возможность регулирования активности ферментов делает их своеобразными организаторами обменных процессов в клетке.

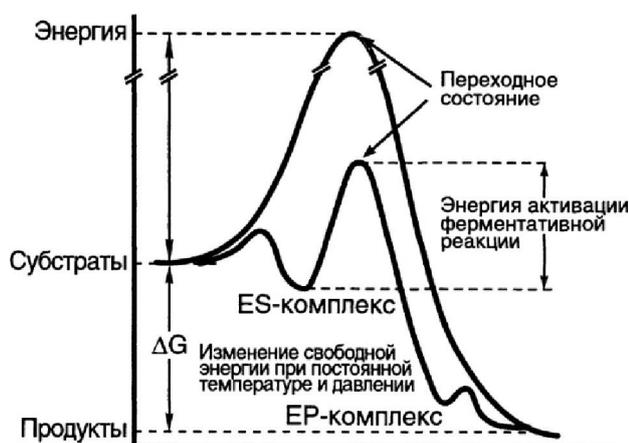


Рис. 2.1. Энергетический профиль реакции.

Пример 2. Фермент катал аза ускоряет реакцию распада перекиси водорода в 10^{12} раз.

Энергия активации распада пероксида водорода на кислород и воду составляет 18 ккал/моль, мелкодисперсная платина снижает ее до 12 ккал/моль, ускоряя реакцию на 6 порядков.

Фермент каталаза снижает энергию активации до 5,6 ккал/моль, что ускоряет реакцию на 12 порядков.

1. **Изоферменты** — это формы фермента, которые катализируют одну и ту же реакцию, но различаются по некоторым свойствам: аминокислотной последовательности, молекулярной массе, аминокислотному составу, составу субъединиц, субстратной специфичности, электрофоретической подвижности и др.

Изоферменты являются продуктами экспрессии разных генов: гены могут быть в разных хромосомах (например, для амилазы

слюны и амилазы панкреатической) или в одной хромосоме (например, для цитоплазматической и митохондриальной малатде-гидрогеназы).

Существуют различия в распределении изоферментов в разных тканях, в разных внутриклеточных компартментах, что отражает различия в метаболизме, например, изоферменты могут иметь разное сродство к субстрату (глюкокиназа печени имеет более низкое сродство к глюкозе, чем гексокиназа, - изофермент, ускоряющий фосфорилирование глюкозы в других тканях).

Различие в свойствах изоферментов отражает их различную роль в разных тканях, в разные стадии развития или в разных внутриклеточных компартментах.

Один из основных механизмов образования изоферментов включает объединение разных субъединиц в разной комбинации при образовании активного олигомерного фермента.

Пример 3. Изоферменты креатинкиназы (**КК**) образуются при объединении 2 субъединиц в димерную молекулу.

Креатинкиназа катализирует обратимую реакцию образования и распада креатинфосфата — вещества, которое участвует в запасании энергии.

креатинкиназа



Фермент КК является димером, состоящим из 2 субъединиц.

Субъединицы В (мозговая) и **М** (мышечная) закодированы в разных генах.

Фермент КК представлен 3 изоферментами, которые различаются по электрофоретической подвижности:

— **ВВ** (КК-1) — **мозговой**, максимальное продвижение к аноду;

— **МВ** (КК-2) — **сердечный**, средняя подвижность;

— **ММ** (КК-3) - **мышечный**, самый медленный. **Набор изоформ КК в разных тканях неодинаков:**

— КК-1 присутствует в значительных количествах в мозге, простате, желудке, легких, плаценте, щитовидной железе.

— КК-2 находится в основном в сердечной мышце (25-46% от общей активности фермента в кардиомиоците), в скелетной мышце (5%).

КК-3 присутствует в основном в клетках скелетных и сердечной мышц.

Задание 1

Сравните каталитическую эффективность действия 3 ферментов, используя данные, представленные ниже.

Константа скорости химической реакции есть скорость этой реакции при условии, что концентрации реагирующих веществ равны 1. Скорость химической реакции определяется как изменение концентрации субстрата или продукта за единицу времени (t).

В таблице приведены ферменты, катализирующие реакции первого порядка, для таких реакций константа скорости не содержит размерность концентрации субстрата и имеет размерность Н.

Ответьте на вопросы:

а) Какая из реакций протекает наиболее медленно?

б) Рассчитайте, во сколько раз увеличивается скорость этих реакций в присутствии ферментов; для этого разделите константу скорости реакции с ферментом на константу скорости в отсутствие фермента.

в) Какой фермент обладает наибольшей эффективностью действия?

Задание 2

Выбрать правильный ответ

1. Ферменты в отличие от других белков:

А. Не входят в состав мембран. Б.

Являются катализаторами.

В. Представлены изоформами.

Г. Избирательно взаимодействуют с веществами.

Д. Используют энергию связывания специфического лиганда для катализа.

Фермент	Константа скорости реакции*	
	в отсутствие фермента, с ⁻¹	в присутствии фермента, с ⁻¹
Карбангидраза (гидролиз H ₂ CO ₃)	1,3·10 ⁻¹	10 ⁶
Триозофосфатизомераза (ускоряет превращение триоз в гликолизе)	4,3·10 ⁻⁶	4300
Карбоксипептидаза А (пептидаза)	3,0·10 ⁻⁹	578

2. **Ферменты увеличивают скорость реакции, так как:**

- А. Изменяют свободную энергию реакции. Б. Уменьшают скорость обратной реакции.
 В. Изменяют состояние равновесия реакции. Г. Уменьшают энергию активации.

Д. Избирательно увеличивают скорость прямой реакции, но не увеличивают скорость обратной реакции.

1. **Активный центр** — это относительно небольшой **участок**, расположенный в узком гидрофобном углублении (щели) поверхности молекулы **фермента, непосредственно участвующий в катализе.**

2. **Активные центры ферментов образуются на уровне третичной структуры.**

3. Ферментативный катализ требует точной пространственной организации больших ансамблей, построенных из аминокислотных остатков и их боковых групп. Такие ансамбли формируют как активные, так и регуляторные (аллостерические) центры ферментов.

4. Активный центр, кроме **каталитического участка**, включает **субстратсвязывающий** участок, который отвечает за специфическое комплементарное связывание субстрата и образование фермент-субстратного комплекса (ES); в активный центр фермента часто входит участок или домен для связывания кофактора.

Пример 1. Активные центры ферментов формируются на уровне третичной структуры.

На рис. 2.2 показана пространственная структура протеолитического фермента трипсина, в центральной полости молекулы находится каталитический центр с остатками Асп102, Гис57 и Сер195



Рис. 2.2. Пространственная структура и каталитический центр трипсина.

Трипсин относится к группе сериновых протеаз,

которые названы так по 34-аминокислотному остатку серина, характерному для их активных центров.

Сериновые протеазы широко распространены в природе и вместе с протеолитическими ферментами других классов (аспартильными, цистеиновыми и металлопротеиназами) обеспечивают расщепление белков (катаболизм) и целый ряд реакций ограниченного протеолиза, имеющих регуляторное значение для жизни клетки.

Сериновые протеазы (к ним относятся трипсин, химотрипсин, эластаза, тромбин и др.) имеют однотипное строение каталитического центра, в который входит **триада аминокислот: Асп, Гис и Сер.**

В разных сериновых протеазах эти аминокислоты могут занимать разные места в пептидной цепи фермента, но они сближаются при свертывании полипептидной цепи и их относительное расположение в пространстве строго сохраняется (рис. 2.3).

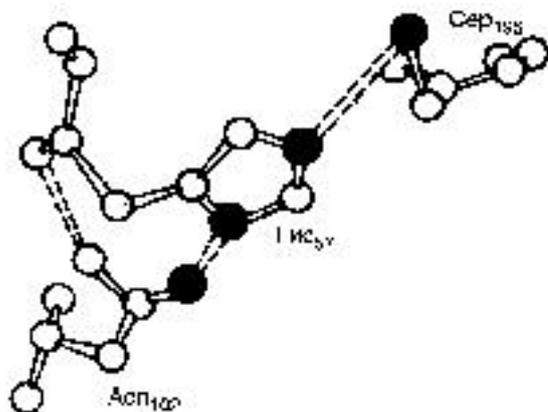


Рис. 2.3. Триада аминокислотных остатков в активном центре сериновых протеаз. Зачернены атомы азота и кислорода, участвующие в катализе

5. Активный центр не может быть очерчен строго определенными границами, поскольку каждый его компонент так или иначе взаимодействует с другими участками молекулы фермента. Влияние микроокружения может быть весьма существенным:

— компоненты активного центра, в том числе и ко-факторы, взаимодействуют с соседними группами фермента, что видоизменяет химические характеристики функциональных групп, участвующих в катализе;

в клетке ферменты образуют структурные комплексы и ансамбли как друг с другом, так и с участками клеточных и внутриклеточных мембран, с элементами цитоскелета и/или другими молекулами, что влияет на реакционную способность функциональных групп в активном центре фермента.

5. Структура активного центра определяет специфичность действия ферментов. Большинство ферментов высокоспецифично как к природе, так и к пути превращения субстрата.

6. Специфичность к субстрату обусловлена комплементарностью структуры субстратсвязывающего центра фермента структуре субстрата (рис. 2.4).

Как показывает рис. 2.4, субстратсвязывающий участок по форме соответствует субстрату (геометрическое соответствие), более того, между аминокислотными остатками активного центра фермента и субстратом образуются специфические связи (гидрофобные, ионные и водородные), т.е. устанавливается электронное или химическое соответствие.

Обратите внимание на то, что нековалентные связи между субстратом и ферментом похожи по характеру на межрадикальные взаимодействия в белках.

Связывание субстрата с активным центром фермента происходит многоточечно, с участием нескольких функциональных групп, которые далее могут участвовать в катализе.

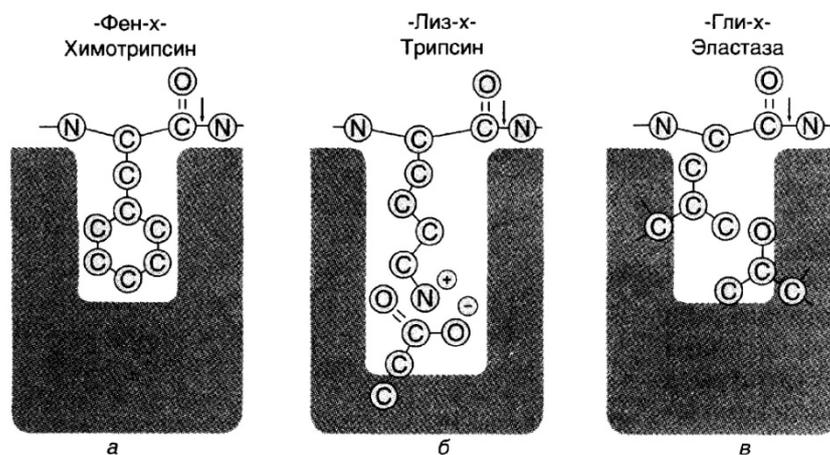


Рис. 2.5. Характеристика субстратсвязывающих центров сериновых протеаз. Стрелки - разрываемые связи в полипептидных цепях белков-субстратов. а - гидрофобный карман; б — ионная связь; в — небольшой гидрофобный карман.

Ферменты могут различаться по субстратной специфичности и обладать абсолютной специфичностью, т.е. иметь только один субстрат и не взаимодействовать даже с очень близкими по строению

7. молекулами (например, уреазы ускоряет гидролиз мочевины, но не действует на тиомочевину), или даже стереоспецифичностью (когда фермент взаимодействует с определенным оптическим и геометрическим изомером).

8. Некоторые ферменты проявляют более широкую специфичность (групповая или относительная специфичность) и взаимодействуют со многими веществами, имеющими похожую структуру (протеазы ускоряют гидролиз пептидных связей в белках, липазы ускоряют расщепление эфирных связей в жирах).

Пример 2. Сери новые протеазы проявляют групповую специфичность к субстратам.

Все они ускоряют гидролиз пептидных связей в белках, но, имея похожую структуру и каталитический механизм, различаются по

субстратной специфичности. 36

На рис. 2.5 показаны субстрат-связывающие участки активных центров панкреатических ферментов, относящихся к группе сериновых протеаз: **химотрипсина, трипсина и эластазы**.

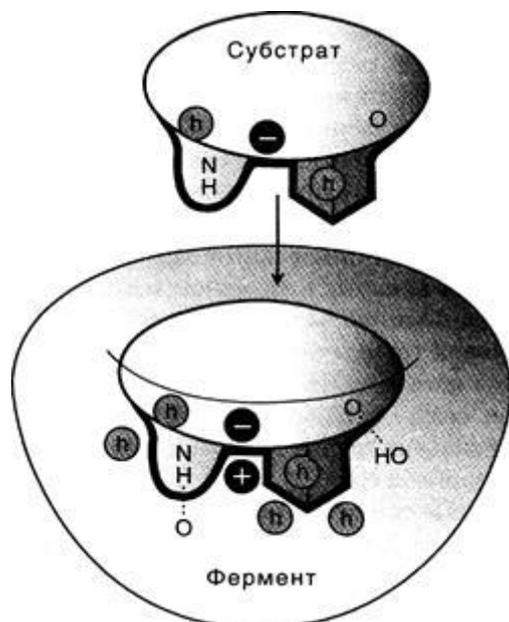


Рис. 2.4. Геометрическое и химическое соответствие (комплементарность) между ферментом и субстратом, h - гидрофобные группы, водородные связи.

В **химотрипсине** субстратсвязывающий участок представляет гидрофобный карман, который связывает радикалы ароматических аминокислот, таких, как фенилаланин. Этот фермент ускоряет гидролиз пептидных связей, образованных карбоксильной группой ароматических аминокислот.

В **трипсине** отрицательный заряд остатка аспарагиновой кислоты в активном центре участвует как в связывании аминогруппы лизина (или гуанидиновой группы аргинина), так и непосредственно в катализе, при котором разрывается пептидная связь, в образовании которой участвует карбоксильная группа положительно заряженных остатков Лиз и Арг.

В **эластазе** остатки валина и треонина, входящие в состав субстратсвязывающего центра, допускают связывание остатков аминокислот только с небольшими боковыми цепями, например, как у глицина. Поэтому эластаза ускоряет гидролиз пептидных связей, образованных карбоксильными группами глицина и аланина.

Задания

1. Ознакомьтесь с рис. 2.6, на котором показано многоточечное комплементарное взаимодействие глюкозы с полярными группами аминокислот субстратсвязывающего центра глюкокиназы. Глюкокиназа — изофермент печени, катализирующий реакцию фосфорилирования глюкозы:

глюкокиназа



2. Какие аминокислотные остатки образуют ансамбль аминокислот субстратсвязывающего центра этого фермента? Охарактеризуйте полярность их радикалов.

3. Какие связи образуются между глюкозой и функциональными группами аминокислот?

4. Используя данные рис. 2.6, подтвердите, что субстратсвязывающий центр глюкокиназы формируется на уровне третичной структуры, а связывание глюкозы многоточечное и комплементарное.

- 1.
- А. Трипсин.
- В. Б. Химотрипсин.
- С. Оба.
- Г. Ни один.

1. В активном центре серии.
2. Проявляет абсолютную специфичность к субстрату.
3. Аспарагиновая кислота участвует как в связывании субстрата, так и в катализе.
4. Субстратсвязывающий участок связывает радикалы ароматических аминокислот.

2. Какие аминокислоты являются компонентами активного центра трипсина?

- А) Серии.
- Б) Лизин.
- В) Аргинин.
- Г) Аспарагиновая кислота.
- Д) Гистидин.

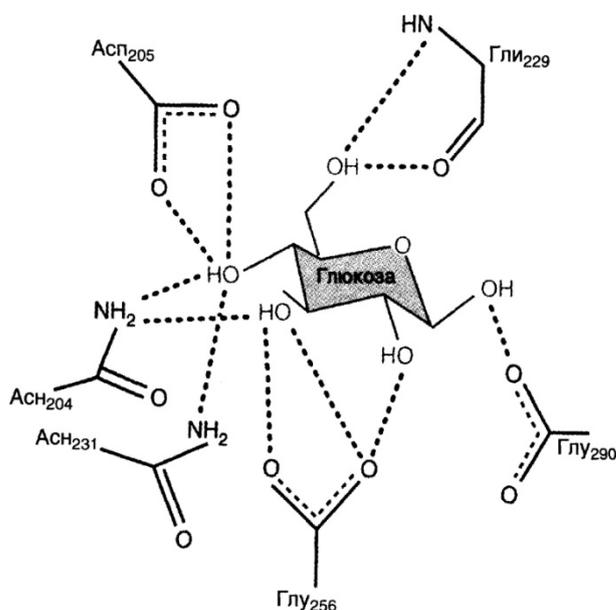


Рис. 2.6. Взаимодействие глюкозы в субстратсвязывающем центре глюкокиназы

Практическое занятие №4 Механизм действия ферментов

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель занятия изучить механизм действия ферментов

Ферментативная реакция — это многостадийный процесс, при этом на 1-й стадии устанавливается индуцированное комплементарное соответствие между ферментом и субстратом.

1. В результате образуется **фермент-субстратный комплекс (ES)**, в котором далее происходит химическое превращение субстрата, после чего продукты превращения отделяются от фермента.

2. В общем виде ход ферментативного катализа представлен ниже, где ES^* — комплекс между ферментом и субстратом в переходном состоянии, EP — комплекс фермента и продукта.



В течение катализа фермент-субстратный комплекс проходит переходное состояние, в результате чего образуется продукт, комплементарность снижается (или исчезает), а после диссоциации продукта фермент возвращается в исходное состояние.

3. При связывании субстрата и активный центр фермента, и сам субстрат претерпевают конформационные изменения, в результате чего комплементарность увеличивается (**явление индуцированного соответствия**).

Пример 1. При связывании субстратов аденилаткиназа претерпевает конформационные изменения.

Фермент **аденилаткиназа** присутствует во всех тканях и катализирует обратимую реакцию превращения нуклеозидмонофосфатов в их дифосфатные формы при участии АТФ:



На рис. 2.7 показана пространственная структура аденилаткиназы, определенная методом рентгеноструктурного анализа. Обратите внимание на **домены А и Б**, каждый из которых состоит приблизительно из 30 аминокислотных остатков. **Домены А и Б** участвуют в связывании субстратов и препятствуют проникновению воды (которая бы способствовала гидролизу нуклеотидов, а не переносу фосфатных групп).

Движение одного из этих доменов зависит от 4 консервативных полярных аминокислотных остатков, которые показаны на рис. 2.7, а над доменом Б. Взаимодействия между функциональными группами этих аминокислот и связывание субстратов запускают конформационные изменения, которые видны на рис. 2.7, б. Обратите внимание, что домены

сблизились и их конформация изменилась. Домен Б приобрел более упорядоченную вторичную структуру, в нем появились β -складчатые элементы. На рис. 2.7, б видно, что оба домена прикрывают субстрат.

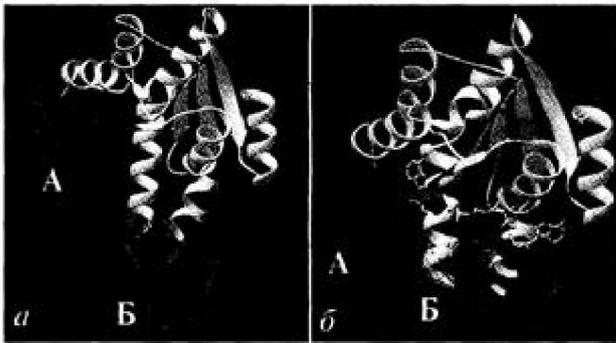


Рис. 2.7. Конформационные изменения в аденилаткиназе при связывании синтетического аналога субстратов. *a* — прострасственная структура аденилаткиназы; *б* — аденилатциклаза, связанная с синтетическим аналогом субстратов.

Пример 2. Катализ под действием карбангидразы осуществляет высокоорганизованный ансамбль, в который входят полярные аминокислоты, ион Zn^{2+} и молекула воды.

Карбангидраза - широко распространенный фермент клеток человека, который катализирует следующую реакцию:



На рис. 2.8 показан активный центр карбангидразы, который содержит вовлеченный в катализ ион Zn^{2+} (шар в центре), соединенный с ионом HCO_3^- (на рисунке расположен над Zn^{2+}) и 3 остатками гистидина (на рисунке видны имидазольные кольца).

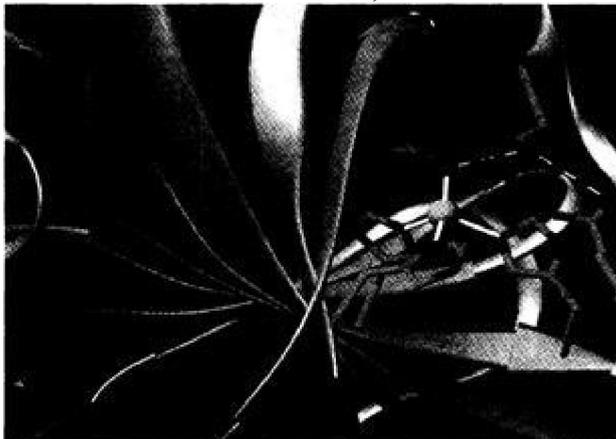


Рис. 2.8. Пространственная структура карбангидразы. Фермент имеет протяженный β -складчатый слой, который напоминает винтовую лестницу. Zn^{2+} находится на дне глубокой щели размером 15 А.

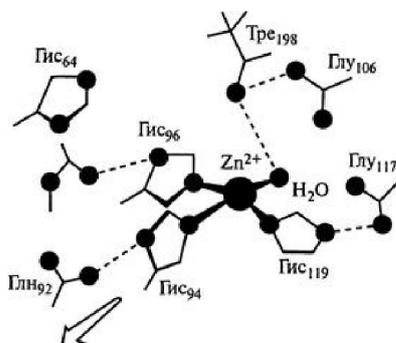


Рис. 2.9. Ансамбль из аминокислот, Zn^{2+} и воды в активном центре карбангидразы.

На рис. 2.9 показана высокоорганизованная сеть взаимодействий, необходимых для катализа. Обратите внимание, что третичная структура белкового катализатора позволяет соединить в активном центре разные функциональные группы.

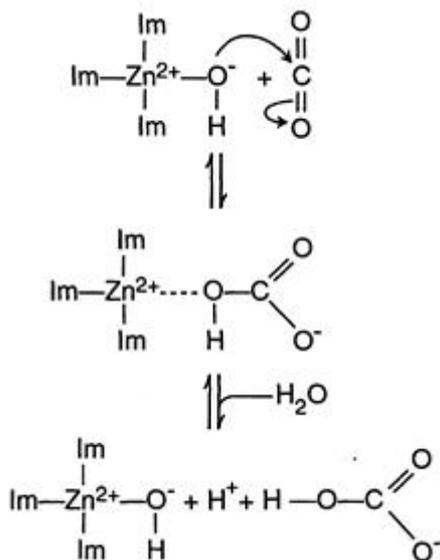


Рис. 2.10. Участие Zn^{2+} в реакции, которую ускоряет карбангидраза. Im - имидазольные кольца Гис.

Ознакомьтесь с рис. 2.9 и назовите компоненты активного центра карбангидразы.

2. С чем взаимодействует ион Zn^{2+} в активном центре карбангидразы, с какими компонентами связана вода? С чем взаимодействует H^+ воды, а с чем -ОН-группа?

3. На каком рисунке, 2.8 или 2.9 изображен фермент-субстратный комплекс?

4. Ознакомьтесь с рис. 2.10, на котором показана эстафетная передача заряда в ходе катализа в активном центре карбангидразы, и ответьте на вопросы:

- 1) как участвует Zn^{2+} в катализе?
- 2) какую роль выполняет молекула воды?
- 3) карбангидраза содержит важный для катализа Zn^{2+} , который:
 - А. Участвует в образовании $HC03$.
 - Б. Ковалентно связан с 3 остатками гистидина.
 - В. Связан с гидроксильной группой воды.

Г. Находится на поверхности молекулы фермента.

Д. Является компонентом активного центра фермента.

В ходе ферментативного катализа с участием карбангидразы:

А. Между субстратом и ферментом образуются нековалентные связи.

Б. Zn^{2+} атакует CO_2 .

В. Происходит эстафетная передача заряда.

Г. Не изменяется первичная структура фермента.

Д. Изменяется реакционная способность функциональных групп остатков гистидина.

2. В ходе ферментативного катализа при образовании фермент-субстратного комплекса:

А. Изменяется конформация субстрата.

Б. Образуются нековалентные связи между субстратом и ферментом.

В. Сближаются функциональные группы, участвующие в катализе.

Г. Изменяется порядок соединения аминокислот.

Д. Усиливается комплементарность между ферментом и субстратом.

Практическое занятие №5 **Классификация ферментов. Ко-факторы.**

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель занятия: изучить классификацию ферментов и кофакторы.

Классификация ферментов

1. Принятая в настоящее время классификация ферментов использует в качестве основного отличительного признака их субстратную специфичность, характер проводимых ими реакций (табл. 2.1)

Таблица 2.1. Основные классы и подклассы ферментов

Класс	Реакции	Основные подклассы, группы
Оксидоредуктазы	Окислительно-восстановительные реакции $A_{\text{восст}} + B_{\text{окис}} \rightarrow A_{\text{окис}} + B_{\text{восст}}$	Дегидрогеназы, оксидазы, редуктазы, гидроксилазы
Трансферазы	Перенос групп $A-B + C \rightarrow A + B-C$	Киназы (фосфатные группы), трансминазы (аминогруппы)
Гидролазы	Гидролиз связей (эфирных, пептидных, гликозидных, связей C-C, P-N) $A-B + H_2O \rightarrow A-H + B-OH$	Эстеразы, фосфатазы, протеазы, липазы, нуклеазы, тилазы
Лиазы	Разрыв связей C-C, C-O, C-N, C-S путем элиминирования молекулы с образованием двойных связей. В обратной реакции ускоряют присоединение воды, аммиака и т.д. по двойной связи $A(XH) \cdot B \rightarrow A-X + B-H$	Альдегидлиазы (альдолаза), углерод-кислородлиазы (фумараза), дегидратазы (енолаза), декарбоксилазы
Изомеразы	Взаимопревращение изомеров $A \leftrightarrow \text{Изо-A}$	Изомеразы, мутазы
Лигаза	Соединение 2 молекул, сопряженное с гидролизом АТФ $A + B + \text{АТФ} \rightarrow A \cdot B + \text{АДР} + P_i$	Карбоксилазы, синтетазы

* Представлены основные классы ферментов в соответствии с принятой классификацией.

1. **Все ферменты имеют окончание «аза», прибавленное к названию субстрата** (например, аргиназа ускоряет гидролиз аргинина) или прибавленное к фразе, описывающей действие фермента (например, алкогольдегидрогеназа — фермент, катализирующий окисление алкоголя, - донора водорода, глутаминсинтетаза ускоряет образование глутамина).

Некоторые ферменты имеют **тривиальные названия**, например каталаза (ускоряет разрушение перекиси водорода, пепсин и трипсин — протеолитические ферменты).

Пример 1. Название фермента отражает природу субстрата и тип реакции.

гистидиндекарбоксилаза-фермент, катализирующий декарбоксилирование гистидина, а фермент **гистидаза** отщепляет аммиак от гистидина.

По типу превращения оба фермента относятся к **классу лиаз**, но к разным подклассам: в первом случае происходит разрыв C—C, а во втором — разрыв C—N-связи.

Обратите внимание, что именно фермент определяет направление превращения гистидина

А. Гидратаза.

Б. Декарбоксилаза.

В. Оба фермента.

Г. Ни один.

1. Относится к классу лиаз.

2. Относится к классу гидролаз.

3. Присоединяет воду по двойной связи.

4. Расщепляет С-С-связи.

2. Какие превращения катализируют киназы?

А. Перенос групп внутри молекулы. Б.

Образование С-О-связей.

В. Разрыв С-С-связей.

Г. Перенос фосфатной группы от донорной молекулы к акцепторной.

Д. Присоединение воды.

3.

А. Оксидоредуктаза.

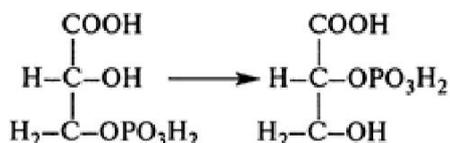
Б. Трансфераза.

В. Изомераза.

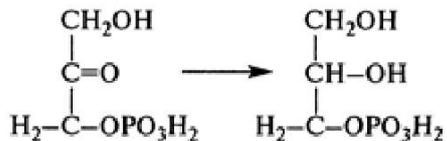
Г. Гидролаза.

Д. Лигаза

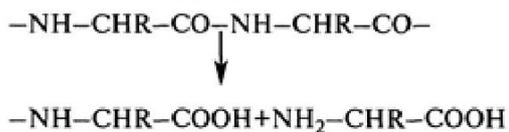
1. Катализирует реакцию:



2. Катализирует реакцию:



3. Катализирует реакцию:



Кофакторы

1. Во многих случаях для активации ферментов требуются определенные низкомолекулярные соединения - кофакторы. Каталитически активный комплекс фермент - кофактор называется холоферментом. Отделение кофакторов, обычно связанных нековалентными связями с белком, приводит к образованию неактивного апофермента:

Апофермент (неактивный)+кофакторхолофермент.

2. Ферменты катализируют реакции, используя в качестве кофакторов как ионы металлов, так и органические соединения, многие из которых являются производными витаминов.

Коферменты - это органические вещества, предшественниками которых являются витамины. Некоторые из них (например, NAD, HSKoA, H4-фолат) непрочны связаны с белком, и восстановление их исходной структуры (регенерация) после участия в катализе может катализироваться уже другим ферментом.

Есть коферменты, которые прочно (часто ковалентно) связаны с апоферментом, т.е. представляют собой простетическую группу сложного белка (холофермента). Например, гем и флавиновые коферменты.

3. Каждый кофермент имеет определенную структуру, что делает его специфичным для определенного типа реакций (табл. 2.2). Ваше внимание должны привлечь структура активной группы коферментов и ее участие в катализе; это надо запомнить.

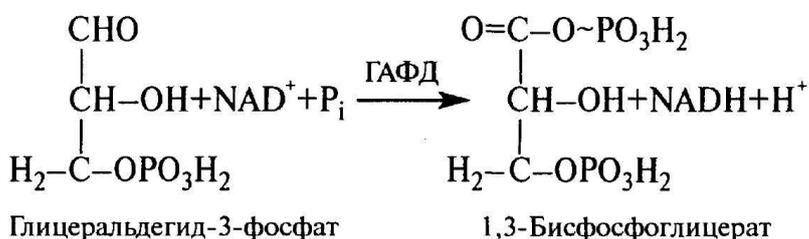
4. Многие ферменты (около $\frac{2}{3}$) являются металлоферментами: для активации ферментов свертывания крови требуется Ca^{2+} ; оксидоредуктазы используют в качестве кофакторов Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} ; киназы - Mg^{2+} ; для глутатионпероксидазы (важного фермента в системе обезвреживания активных форм кислорода) требуется Se.

Этим объясняется, что в любой диете должны присутствовать эти и другие микроэлементы.

Понятным становится токсический эффект тяжелых металлов, например Cd^{2+} , Hg^{2+} , которые могут замещать Zn^{2+} в активном центре определенных ферментов, включая РНК-полимеразу, уменьшая активность ферментов.

5. Для участия в реакции ионы металлов и коферменты должны быть связаны с ферментами. При этом, как и для других лигандов, комплементарное, точное размещение кофермента в активном центре фермента обеспечивает множество нековалентных контактов с ферментом.

Пример 1. Связывание кофермента NAD происходит комплементарно в нуклеотидсвязывающем домене глицеральде-гид-3-фосфатдегидрогеназы (ГАФД).

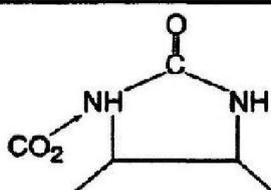
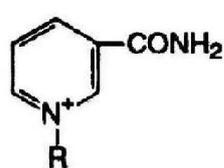
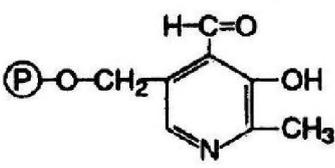
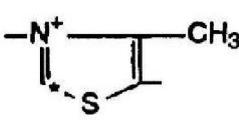


ГАФД катализирует окисление и фосфорилирование глице-ральдегид-3-фосфата при участии кофермента NAD и P_i.

ГАФД относится к группе NAD-зависимых дегидрогеназ. Первичная и пространственная структуры ферментов этой группы различны.

Связывание коферментов, производных нуклеотидов (в том числе NAD), происходит в нуклеотидсвязывающих доменах. Вторичная и третичная структуры этих доменов обнаруживают большое сходство для ферментов этой группы и включают 2 структурно похожие единицы (рис. 2.17).

На рис. 2.18 представлена пространственная структура полипептидной цепи ГАФД, которая образует 2 домена: каталитический (верхний на рисунке) и нуклеотидсвязывающий (нижний). Каталитический и NAD-связывающий центры вместе образуют активный центр фермента; он расположен на стыке этих доменов.

Коферменты	Активная группа (часть кофермента)	Тип реакции, в которой участвует кофермент, роль кофермента и участие активной группы в катализе	Витамин-предшественник
Биотин		Карбоксилирование Присоединение карбоксильной группы путем замещения атома водорода у азота активной группой кофермента. Затем карбоксильная группа переносится на субстрат	Биотин (витамин H)
Кофермент А (КоА или HSKoA)	-SH-группа	Реакции ацилирования Образование высокоэнергетической тиоэфирной связи с карбоксильными группами карбоновых кислот R-CO-SKoA	Пантотеновая кислота
Никотинамидные коферменты (NAD и NADP)	Положительно заряженный азот никотинамида 	Окисление-восстановление При окислении субстрата к пиридиновому кольцу присоединяются 1 протон (2-й переходит в среду) и 2 электрона, при этом положительный заряд утрачивается	Никотинамид (ниацин или витамин PP)
Пиридоксальфосфат (ПФ)	Альдегидная 	Трансаминирование, декарбоксилирование аминокислот. При сближении азота L-аминокислоты и углерода альдегидной группы ПФ образуется альдиминная связь. Далее после внутримолекулярных перестроек образуется аминогруппа на коферменте и кетогруппа на бывшей аминокислоте (теперь это кетокислота)	Пиридоксин (витамин B6)
Тиаминпирофосфат (ТПР)	Атом углерода тиазолового кольца (*) 	Декарбоксилирование α-кетокислот. Разрывается связь, следующая за кетогруппой субстратов, высвобождается CO ₂ , между кетогруппой субстрата и углеродом тиазолового кольца ТПР образуется ковалентная связь (это промежуточное соединение катализа)	Тиамин (витамин B1)
Флавиновые коферменты (FAD и FMN)	Атомы азота (N ₁ и N ₁₀) изоаллоксазинового группы 	Окисление-восстановление Два атома водорода от субстрата присоединяются к атомам азота N ₁ и N ₁₀	Рибофлавин (витамин B2)

Задание 1

1. Назовите коферменты, структура которых изображена схематически ниже:

1) изоаллоксазин-рибитол-фосфорный остаток-фосфорный остаток-рибоза-аденин;

2) тиэтанолламин-пантотеновая кислота-фосфорный остаток-фосфорный остаток-фосфоррибоза - аденин.

2. Напишите схематически (как выше в задании 1) структуру коферментов: NAD, NADP, FMN.

3. Запомните активные группы коферментов, витамины, входящие в их состав.

Выучите тип реакций, в которых участвуют основные коферменты.

Задание 2

1. В состав как их коферментов входит аденозинмонофосфат? А. КоА.

Б. Биотин.

В. NADP.

Г. FMN. Д.

FAD.

2.

А. NAD.

Б. ТПР.

В. КоА.

Г. FAD.

Д. ПФ.

1. Производное витамина В6.

2. Производное витамина В2.

3. Производное витамина Вj.

3. Какой кофермент участвует в переносе аминокислоты? А.

ТПР.

Б. FMN.

В. ПФ.

Г. Биотин.

Д. КоА.

- А. Кофермент дегидрогеназ.
 Б. Кофермент аминотрансфераз.
 В. Кофермент декарбоксилаз кетокислот.
 Г. Кофермент ацилтрансфераз.
 Д. Кофермент карбоксилаз.
1. FAD.
 2. Тиаминпирофосфат.
 3. Пиридоксальфосфат.

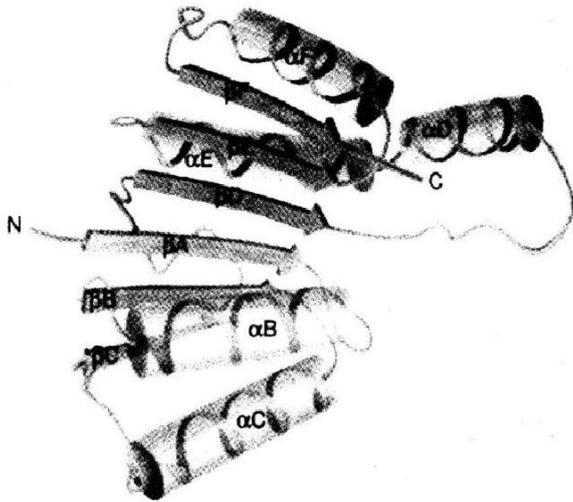


Рис. 2.17. Пространственная структура нуклеотидсвязывающего домена (общий план строения).



Рис. 2.18. Двудоменный фермент глицеральдегид-3-фосфат-дегидрогеназа.

Практическое занятие №6

Взаимосвязь обмена веществ и энергии цикл АТФ-АДФ (АТФ-АДФ)

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель занятия: изучить взаимосвязь обмена веществ и энергии

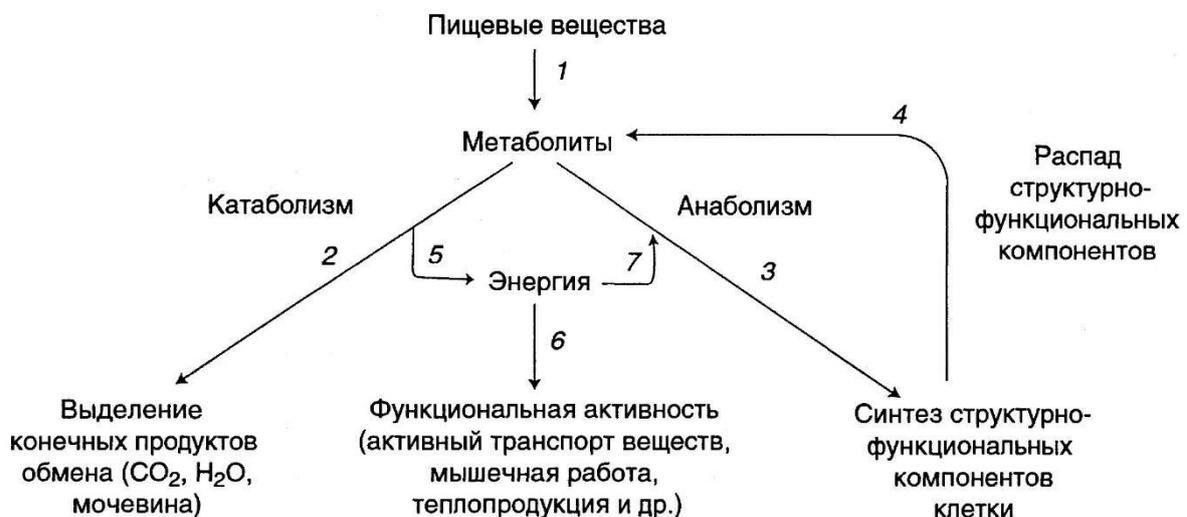


Рис. 5.1. Общая схема обмена веществ и энергии.

1 - пищеварение; 2,4- катаболизм; 3 - анаболизм; 5 - экзергонические реакции; 6,7- эндергонические реакции.

1. Обмен веществ включает три этапа: а) поступление веществ в организм; б) метаболизм, или промежуточный обмен; в) выделение конечных продуктов обмена (рис. 5.1).

2. Поступление веществ в организм происходит в результате дыхания (кислород), питания и пищеварения. При пищеварении происходит гидролиз полимеров (белков, крахмала и т.д.) до мономеров (аминокислот, глюкозы и др.), которые легко всасываются в кровь.

3. Промежуточный обмен (внутриклеточный метаболизм) состоит из двух фаз: катаболизма и анаболизма. В процессе катаболизма сложные органические молекулы превращаются в конечные продукты: CO_2 , H_2O и мочевину. Анаболизм представляет собой совокупность реакций синтеза сложных полимеров.

4. Реакции катаболизма сопровождаются выделением энергии (экзергонические реакции), а ее использование связано с реакциями

5.

6. анаболизма и физиологической активностью организма (эндергонические реакции).

7. Центральную роль в энергетическом обмене выполняет АТФ: а) в макроэргических связях АТФ аккумулируется энергия, выделяемая в процессе катаболизма; б) энергия АТФ используется в реакциях анаболизма и обеспечивает различные виды работы в организме. Таким образом, энергия, поступающая в организм человека, проходит следующие этапы превращений (рис. 5.2).

За сутки в организме образуется и распадается около 60 кг АТФ. Однако запас АТФ в клетке может обеспечить энергией работу клетки лишь в течение нескольких секунд. Цикл АТФ-АДР работает постоянно и производит такое количество АТФ, которое было израсходовано клеткой.

Энергия химических связей АТФ, используется в организме для совершения полезной работы. На всех этапах превращения энергии, в том числе и при гидролизе АТФ, часть энергии выделяется в виде тепла, поэтому температура тела выше температуры окружающей среды и достаточно постоянна



рис. 5.2 Цикл АТФ-АДР

Задание 1

1. Запомните основные этапы обмена веществ.
2. Подберите к цифрам на рис. 5.1 соответствующие буквы:
 - А. Эндергонические реакции.
 - Б. Экзергонические реакции.
 - В. Пищеварение.
 - Г. Реакции катаболизма.
 - Д. Реакции анаболизма.
 - Е. Выделение конечных продуктов обмена из организма.

Задание 2

1. Метаболизм представляет собой совокупность химических реакций, в результате которых происходит:

- А. Распад органических веществ в клетках до CO_2 и H_2O .
- Б. Трансформация энергии органических веществ в энергию макроэргических связей АТФ.
- В. Синтез структурно-функциональных компонентов клетки.

Г. Превращение пищевых веществ в соединения, лишенные видовой специфичности.

Д. Использование энергии катаболических процессов для обеспечения функциональной активности организма.

. Конечные продукты метаболизма: А.

Аминокислоты.

Б. H_2O .

В. CO_2 .

Г. Глюкоза.

Д. Мочевина.

. Выберите наиболее полный ответ.

Цикл АТФ-АДФ включает:

А. Использование энергии химических связей АТФ для работы.

Б. Синтез АТФ за счет энергии окисления пищевых веществ.

В. Использование АТФ для различных видов работы и регенерацию АТФ за счет реакций катаболизма.

Г. Субстратное фосфорилирование.

Д. Гидролиз макроэргических связей АТФ с выделением теп-

Практическое занятие №7

Общий путь катаболизма-основной источник доноров водорода для цепи переноса электронов

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель работы изучить общий путь катаболизма-основной источник доноров водорода для цепи переноса электронов

1. Начальные этапы катаболизма (специфические пути катаболизма) основных пищевых веществ (белков, жиров и углеводов) происходят при участии ферментов, специфичных для каждого класса веществ, и завершаются образованием 2 метаболитов - пировиноградной кислоты (C_3) и уксусной кислоты (C_2) в форме ацетил-КоА (рис. 5.5).

2. После образования пирувата дальнейший путь распада веществ до конечных продуктов CO_2 и H_2O происходит одинаково в общем пути катаболизма (ОПК).

3. Общий путь катаболизма включает: реакцию окислительного декарбоксилирования пирувата; нитратный цикл (цикл Кребса, или цикл трикарбоновых кислот — ЦТК).

4. В общем пути катаболизма образуются первичные доноры водорода для ЦПЭ (рис. 5.7), которые окисляются O^+ -зависимыми или FAD-зависимой дегидрогеназами, передающими водород в ЦПЭ.

5. Реакции ОПК происходят в матриксе митохондрий, и восстановленные коферменты передают водород непосредственно на компоненты ЦПЭ, расположенные во внутренней мембране митохондрий

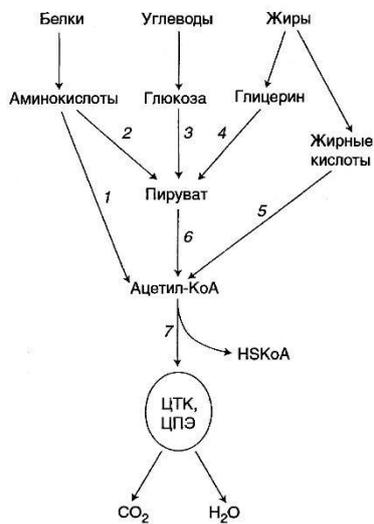
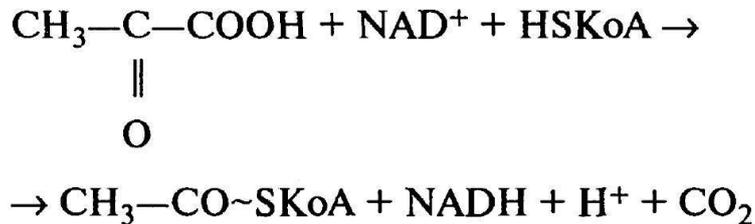


Рис. 5.5. Специфические и общий пути катаболизма.

1-5 - специфические пути катаболизма; 6-1 этап общего пути катаболизма; 7-11 этап.

6. Первая реакция ОПК - реакция окислительного декарбоксилирования пирувата - описывается следующим суммарным уравнением:



Эту реакцию катализирует сложно организованный пируватдегидрогеназный комплекс (ПДК) (рис. 5.6).

7. Пируватдегидрогеназный комплекс состоит из 3 разных ферментов и 5 коферментов (табл. 5.2).

Эту реакцию катализирует сложно организованный пируватдегидрогеназный комплекс (ПДК) (рис. 5.6).

7. Пируватдегидрогеназный комплекс состоит из 3 разных ферментов и 5 коферментов (табл. 5.2).

Кофермент TDP, липоевая кислота и FAD прочно связаны с апоферментами; NAD^+ , HSKoA включаются в состав комплекса только в момент реакции.

8. Комплекс содержит разное количество каждого фермента и имеет молекулярную массу более $6 \cdot 10^6$. Все мономеры комплекса располагаются в пространстве таким образом, чтобы обеспечить одновременное протекание однотипных реакций в нескольких местах комплекса.

Промежуточные метаболиты передаются от одного активного центра к другому. Это предотвращает уход промежуточных метаболитов и делает работу ферментного комплекса максимально эффективной.

В состав комплекса входят также регуляторные протомеры: киназа и фосфатаза, роль которых рассматривается в теме 5.6 (см. рис. 5.9).

9. Ацетил-КоА, образовавшийся в реакции, катализируемой ПДК, далее вступает в цикл Кребса. Реакция представляет собой конденсацию оксалоацетата (ЩУК) с ацетил-КоА, катализируемую цитратсинтазой. В этой реакции выделяется большое количество энергии ($\Delta G = 8$ ккал/моль), что сдвигает равновесие реакции в сторону образования цитрата и определяет дальнейшее направление реакций ЦТК.

10. Ацетильный остаток ацетил-КоА (C2) полностью окисляется в ЦТК, в результате чего выделяются 2 молекулы CO_2 , восстанавливаются 3 молекулы NAD^+ и 1 молекула Q, в результате этого в ЦПЭ синтезируется 11 молекул АТФ.

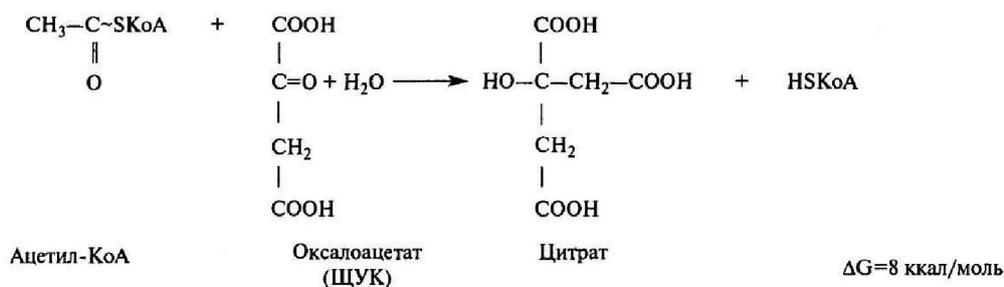


11. В реакции, катализируемой сукцинаттиокиназой, происходит синтез GTP.

В этой реакции донором энергии для синтеза GTP является молекула субстрата; такой способ синтеза GTP называется субстратным фосфорилированием. Энергия GTP может трансформироваться в энергию АТФ при действии нуклеозиддифосфаткиназы:



Следовательно, суммарный выход АТФ при окислении 1 молекулы ацетил-КоА составляет 12 молекул: 11 молекул образуется путем окислительного и 1 - путем субстратного фосфорилирования. Субстратное фосфорилирование в отличие от окислительного фосфорилирования происходит без участия ЦПЭ и соответственно кислорода. Такой способ синтеза АТФ происходит в нескольких метаболических путях.



Задание 1

1. Напишите реакции, катализируемые отдельными ферментами пируватдегидрогеназного комплекса (см. рис. 5.6).

2. Определите количество молей АТФ, синтезируемое за счет дегидрирования 1 моль пирувата.

Для этого:

а) напишите суммарное уравнение окислительного декарбоксилирования пирувата;

б) покажите путь водорода от восстановленного кофермента

до кислорода;

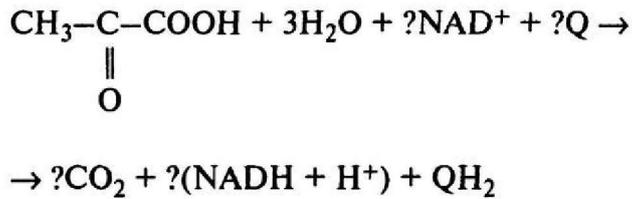
56

в) вспомните определение коэффициента окислительного фосфорилирования и рассчитайте его для данной реакции.

3. Выучите последовательность реакций, составляющих цитратный цикл, названия ферментов, катализирующих эти реакции, и их коферменты.

4. Используя схему связи общего пути катаболизма с ЦПЭ (см. рис. 5.7), проследите путь водорода от окисляемых субстратов к кислороду и оцените выход АТФ для отдельных реакций и общего пути катаболизма в целом.

Подставьте в уравнение соответствующие стехиометрические коэффициенты:



Для этого:

- найдите на схеме связи общего пути катаболизма с ЦПЭ реакции, в которых происходит декарбоксилирование (см. рис. 5.7). Выпишите название метаболитов, которые декарбоксилируются;
- найдите на схеме реакции дегидрирования и выпишите названия первичных доноров водорода;
- найдите на схеме компоненты ЦПЭ, на которые поступает водород от первичных доноров;
- расставьте коэффициенты в уравнении.

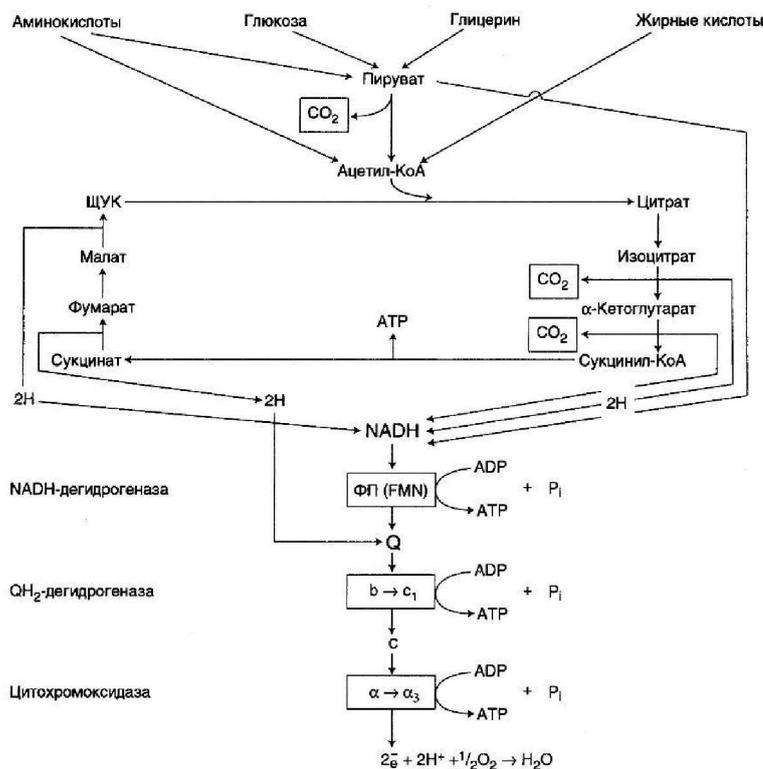
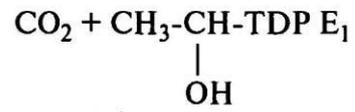


Рис. 5.7. Связь общего пути катаболизма с цепью переноса электронов.
ФП — флавопротеины.

Задание 2

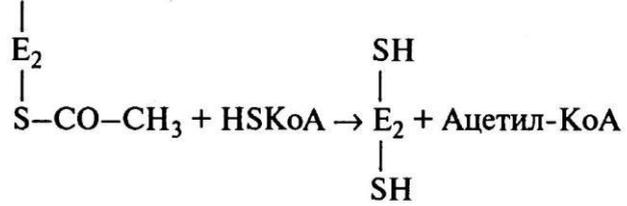
Подберите ферменты к соответствующим реакции

1. Пируват + TDP E₁ →



2. E₃ FADH₂ + NAD⁺ → E₃ FAD + NADH + H⁺

3. SH



- А. Пируватдекарбоксилаза.
 Б. Пируваткарбоксилаза.
 В. Дигидролипоилдсгидрогеназа. Г.
 Дигидролипонятрансацетилаза. Д.
 Сукцинатдегидрогеназа.

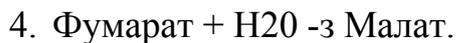
2. Подберите к реакциям соответствующие ферменты:



Цитрат + HSKoA.



GTP + HSKoA.



А. Фумараза.

Б. Цитратсинтаза.

В. Сукцинатгиокиназа.

Г. Изоцитратдегидрогеназа.

3. К каждому ферменту подберите соответствующий кофермент:

1. Сукцинатдегидрогеназа. А. FAD.

2. NADH-дегидрогеназа. Б. TDP.

3. Малатдегидрогеназа. В. FMN.

4. Пируватдекарбоксилаза. Г. NAD⁺.

А. Изоцитратдегидрогеназа. Б.

Сукцинатдегидрогеназа.

в. Оба.

Г. Ни один.

1. FAD-зависимая дегидрогеназа.

2. NAD-зависимая дегидрогеназа.

3. Катализируют реакцию окисления.

4. Катализируют реакцию субстратного фосфорилирования.

5. В суспензию митохондрий добавили 2 ммоль цит

рата и 2 ммоль ADP. Скорость окисления субстрата измеряли по поглощению кислорода. Через некоторое время реакция прекратилась.

а) объясните, почему;

б) сколько ммоль субстрата осталось неокисленными?

в) какое вещество (или вещества) можно добавить, чтобы реакция возобновилась?

6. В эксперименте с изолированными митохондриями в качестве окисляемого субстрата использовали изоцитрат. Определите, в присутствии каких из перечисленных веществ будет тормозиться окисление и зо цитрата:

- А. Амита́л натрия (барбитура́т).
- Б. ADP.
- В. NADH.
- Г. 2,4-Динитрофенол.
- Д. АТФ.

Практическое занятие №8

Регуляция энергетического обмена

План занятия

1. Теоретическая часть.
2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель работы: Изучить механизмы регуляции энергетического обмена.

1. Синтез АТФ в клетке регулируется потребностью в энергии, что достигается согласованной регуляцией скоростей реакций ЦПЭ и ОПК.

2. Увеличение концентрации ADP ускоряет окисление NADH в ЦПЭ, что приводит к увеличению скорости реакций, катализируемых регуляторными NAD⁺-зависимыми ферментами, и к увеличению скорости общего пути катаболизма в целом (рис. 5.10). Кроме этого, ADP аллостерически активизирует регуляторные ферменты ОПК. Такая согласованная регуляция ЦПЭ и ОПК приводит к тому, что вместо использованных молекул АТФ синтезируется адекватное количество новых; чем больше использовано АТФ, тем больше его синтезируется.

3. Скорость ОПК регулируется на уровне 4 реакций, катализируемых:

- ПДК;
- цитратсинтазой;
- изоцитратдегидрогеназой;
- а-кетоглутаратдегидрогеназным комплексом.

4. Регуляцию скорости ОПК осуществляет несколько механизмов:

а) аллостерическая регуляция - каждый регуляторный фермент имеет аллостерические эффекторы (рис. 5.9), концентрация которых изменяется в зависимости от состояния клетки;

б) увеличение активности фермента при высокой концентрации субстрата (например, пируват -наиболее эффективный активатор пируватдегидрогеназного комплекса);

в) ингибирование фермента продуктами реакции: пируватдегидрогеназный комплекс ингибируется ацетил-КоА и NADH, цитратсинтаза - цитратом;

г) фосфорилирование и дефосфорилирование ПДК (см. рис. 5.9).

5. Наиболее сложна регуляция ПДК. Реакция, катализируемая ПДК, связывает между собой такие метаболические пути, как гликолиз (распад глюкозы)

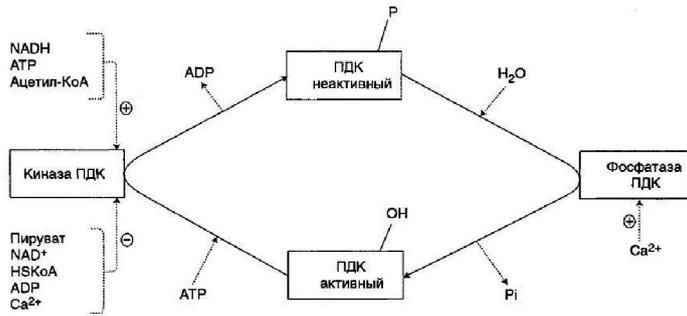


Рис. 5.9. Регуляция пируватдегидрогеназного комплекса.

В составе ПДК содержатся 2 регуляторные субъединицы: киназа и фосфатаза. Киназа фосфорилирует ПДК и переводит его в неактивную форму, фосфатаза отщепляет фосфорный остаток от ПДК и переводит его в активную форму. Киназа ПДК аллостериче-ски активируется АТР, NADH и ацетил-КоА, а ингибируется п руватом. ADP, NAD⁺. HSKoA, Ca²⁺.

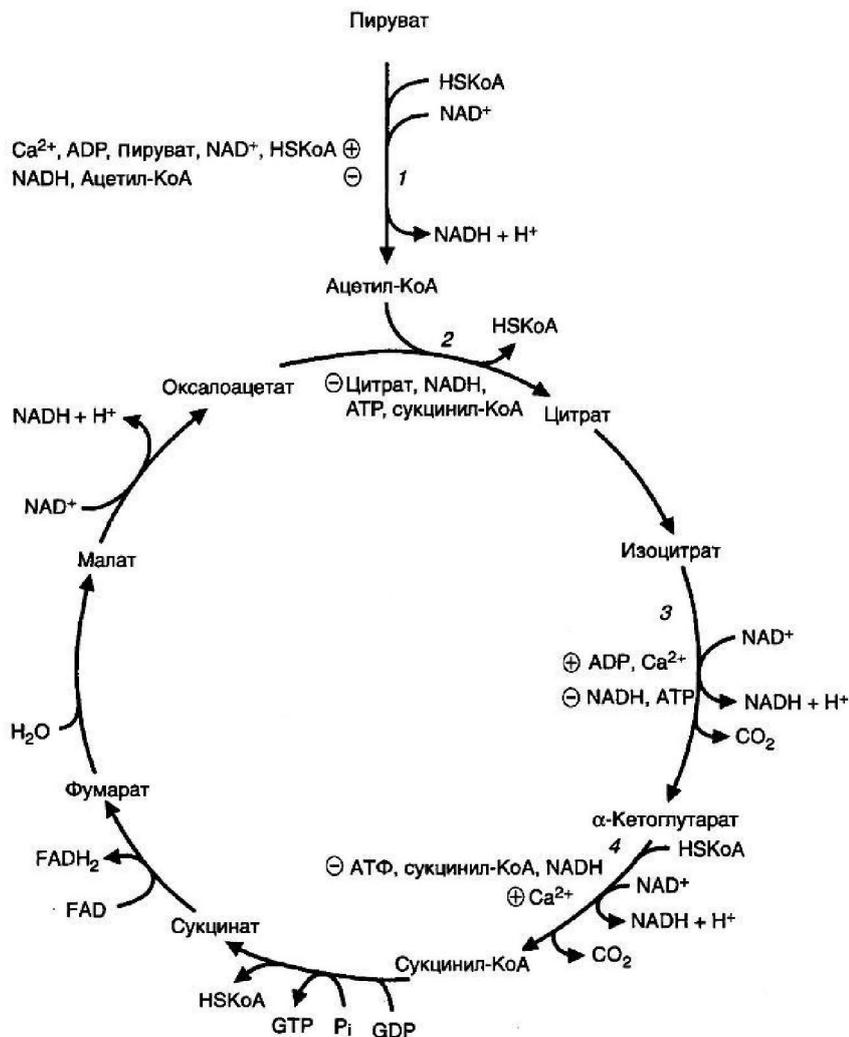


Рис. 5.10. Регуляция общего пути катаболизма. Глюконеогенез (синтез глюкозы), синтез жирных кислот, окисление жирных кислот и цикл Кребса. Таким образом, реакции,

катализируемые ПДК, представляя собой «большой биохимический перекресток». В состав ПДК входят 2 регуляторные субъединицы - киназа и фосфатаза (см. рис. 5.9). В результате фосфорилирования под действием киназы ПДК переходит в неактивную форму, при дефосфорилировании фосфатазой - в активную форму. Активность киназы и фосфатазы регулируется многими аллостерическими эффекторами.

6. Киназа ПДК аллостерически активируется NADH, ацетил-КоА и АТФ, следовательно, при их накоплении прекращается дальнейшее превращение пирувата в ацетил-КоА. Такая ситуация создается, например, в печени при голодании: из жировых депо в печень поступают жирные кислоты, в митохондриях в результате специфического пути их катаболизма (см. рис. 5.7) накапливается большое количество ацетил-КоА и NADH. Пируват при этом не окисляется и может быть использован для синтеза глюкозы (глю-конеогенеза).

7. Киназа ПДК аллостерически ингибируется пируватом, ADP, HSKoA, Ca²⁺. В абсорбционный период глюкоза поступает в клетки и распадается с образованием пирувата. Высокая концентрация пирувата действует на ПДК двумя способами:

- поддерживает ПДК в нефосфорилированной активной форме, так как это наиболее сильный ингибитор киназы ПДК;
- аллостерически активирует нефосфорилированную активную форму ПДК, действуя согласованно с другими активаторами - субстратами реакций — NAD⁺ и HSKoA.

В результате создаются условия для образования ацетил-КоА из глюкозы. Ацетил-КоА может окисляться в ЦТК; в печени и жировой ткани часть ацетил-КоА используется для синтеза жирных кислот.

8. Регуляция ионами Ca²⁺ особенно важна в мышцах. Потенциал действия увеличивает концентрацию Ca²⁺ в митохондриях, что одновременно ингибирует киназу и активирует фосфатазу; это быстро переводит ПДК в активную нефосфорилированную форму. Одновременно Ca²⁺ активирует регуляторные ферменты ЦТК, и ацетил-КоА быстро окисляется, обеспечивая синтез АТФ для работы мышц.

9. В адипоцитах инсулин, действуя через мембранные рецепторы, приводит к увеличению концентрации Ca²⁺ в митохондриях, что активирует фосфатазу ПДК и переводит его в активное нефосфорилированное состояние. В результате создаются условия для превращений: пируват ацетил-КоА» жирные кислоты» жиры, т.е. из продуктов распада глюкозы синтезируются жиры - основная форма запаса энергии в организме.

10. Регуляция ОПК дает возможность переключать метаболические пути, например в абсорбционный период продукты катаболизма глюкозы в печени используются для синтеза жиров, окисление жирных кислот в печени при голодании делает возможным использование пирувата для синтеза глюкозы.

Задание 1

1. Изучите схему регуляции ОПК (см. рис. 5.9, 5.10) и заполните таблицу.

Регуляторные ферменты ОПК	Активаторы	Ингибиторы
1.		
2.		
3.		
4.		

а) объясните, в каких условиях увеличивается концентрация ADP и NAD^+ ;

б) объясните, в каких условиях увеличивается концентрация ATP и NADH.

2. При интенсивной физической работе человек согревается даже при сильном морозе.

а) укажите механизмы, обеспечивающие увеличение теплопродукции в организме в этих условиях;

б) объясните изменение скорости тканевого дыхания;

в) выпишите активаторы регуляторных ферментов ОПК, количество которых увеличивается в мышцах при физической работе.

3. При длительном голодании основным источником энергии в печени становятся жирные кислоты (см. рис. 5.5), при окислении которых в митохондриях увеличивается концентрация ацетил-КоА. Как при этом изменится скорость окисления:

а) пирувата,

б) глюкозы (см. рис. 5.9, 5.10)?

4. После приема пищи в клетки печени поступает значительное количество глюкозы, активируется ее специфический путь катаболизма, заканчивающийся образованием пирувата. Опишите состояние ПДК в клетках печени в этих условиях, укажите факторы, влияющие на активность комплекса в этих условиях (см. рис. 5.9).

5 Опишите состояние ПДК в скелетных мышцах при работе в аэробных

условиях. Имейте в виду, что глюкоза запасается в мышцах в виде гликогена и может использоваться как источник энергии, окисляясь вначале по специфическому пути катаболизма, а затем до CO_2 и H_2O . Укажите факторы, влияющие на активность ПДК в этих условиях (см. рис. 5.9, 5.10).

Задание 2

1. Увеличение концентрации каких веществ в мито-хондриях ускорит реакции ОПК?

- А. Пируват.
- Б. NADH .
- В. ADP .
- Г. Ca^{2+} .
- Д. Цитрат.

2. Увеличение концентрации каких веществ в мито хондриях снизит потребление O_2 ?

- А. NAD^+
- Б. NADH .
- В. Ca^{2+} .
- Г. Пируват. Д. АТФ.

Выберите регуляторные ферменты цитратного цикла:

- А. Цитратсинтаза. Б. Малатдегидрогеназа.
- В. Изоцитратдегидрогеназа. Г. Сукцинатдегидрогеназа.
- Д. α -Кетоглутаратдегидрогеназа.

4. Сравните регуляторные ферменты ЦТК:

- А. Изоцитратдегидрогеназа. Б. α -Кетоглутаратдегидрогеназа.
- В. Оба.
- Г. Ни один.

1. Располагается на внутренней мембране митохондрий.

- 2. Активируется ADP .
- 3. Ингибируется ATP .
- 4. Содержит кофермент ТПП.

Практическое занятие №9

Определение физиологической потребности организма в энергии и основных пищевых веществах. Оценка пищевого статуса.

План занятия

- 1. Теоретическая часть.

2. Выполнение заданий по теме занятия
3. Контрольные вопросы

Цель работы: Изучить способы определения физиологической потребности организма в энергии и основных пищевых веществах, и методы оценки пищевого статуса.

1. Теоретическая часть.

Питание предусматривает, что суточный расход энергии человека должен соответствовать энергетической ценности рациона питания. Определив этот расход, устанавливают калорийность рациона.

Образующуюся в организме энергию и энергетическую ценность пищи измеряют в единицах тепловой энергии - килокалориях (ккал) или килоджоулях (кДж), $1 \text{ ккал} = 4,184 \text{ кДж}$.

Количество энергии, которое высвобождается в организме при сгорании 1 г пищевого вещества, называют энергетическим коэффициентом (эквивалентом). Коэффициенты расчета энергетической ценности:

Пищевое вещество	Энергетическая ценность ккал/г
Белки	4,0
Жиры	9,0
Углеводы	4,0
Сумма моно- и дисахаридов	3,8
Ксилит, сорбит	2,4

Крахмал	4,1
Этиловый спирт	7,0
Пищевые волокна	0
Органические кислоты:	
уксусная	3,5
яблочная	2,4
молочная	3,6
лимонная	2,5

Энергетические затраты человека делятся на нерегулируемые и регулируемые.

Нерегулируемые энергозатраты включают основной обмен и специфически-динамическое действие пищи.

Основной обмен - это энергия, расходуемая на процессы, обеспечивающие работу внутренних органов, систем и тканей, на окислительно-восстановительные реакции и поддержание постоянной температуры тела. Энергия основного обмена для мужчин составляет в среднем 1700 ккал, для женщин - 1400 ккал в сутки.

Специфически-динамическое действие пищевых веществ (СДД) - энергия, расходуемая на процессы пищеварения и превращения пищевых веществ. Расход энергии на прием пищи при смешанном питании сопровождается повышением основного обмена в среднем на 10-15% в сутки.

Регулируемые энергозатраты включают расход энергии в процессе трудовой деятельности, быта, при занятиях спортом и т.п. Этот расход энергии сопровождает физическую и умственную деятельность.

Физическая работа является определяющим компонентом в суточном расходе энергии. Чем интенсивнее мышечная деятельность, тем больше затраты энергии.

Умственный труд характеризуется незначительным расходом энергии. Величина основного обмена при нем увеличивается всего на 2-16%, в то время как при физической нагрузке величина основного обмена может увеличиваться в несколько раз.

Все взрослое трудоспособное население в зависимости от характера трудовой деятельности в действующих Нормах питания разделено на 5 групп для мужчин и 4 группы для женщин. При этом каждая группа объединяет лиц определенных профессий.

В качестве объективного физиологического критерия, определяющего адекватное количество энергии для конкретных групп, согласно рекомендаций ВОЗ (всемирной организации здравоохранения) является коэффициент физической активности (КФА).

Методы определения энергетических затрат организма человека.

Потребность человека в энергии определяют по величине суточных энергозатрат. Затраты энергии устанавливают методами *прямой, непрямой (респираторной) и алиментарной энергетрии*, а также *хронометражно-табличным методом*.

2. Выполнение заданий по теме занятия

Задание 1 **Определения суточных энергозатрат хронометражно-табличным методом.**

Хронометражно-табличный метод является простым и быстрым методом определения суточных энергозатрат человека. Метод включает хронометраж отдельных видов деятельности человека за сутки и расчет энергозатрат с помощью специальных таблиц как по отдельным видам деятельности, так и за сутки в целом. Указанный метод включает данные основного обмена.

Каждое состояние организма, каждый вид деятельности (сон, работа, отдых и т.д.) сопровождается определенными по величине затратами энергии, которые образуют суммарную величину затрат энергии за сутки. Поэтому первым этапом определения этой величины является учет продолжительности отдельных состояний организма и видов деятельности на протяжении суток, т.е. определение бюджета времени.

Бюджет времени определяется: путем опроса, личных записей и хронометража.

В практической деятельности обычно используется сочетание метода хронометража и личных записей. Необходимо, чтобы день, выбранный для хронометража, был типичным и выполняемые виды работ характеризовали среднюю физическую нагрузку. Если общая сумма времени, затраченного на все виды деятельности, будет равной 24 часам (1440 мин.), следовательно, хронометраж проведен правильно.

Обработка данных хронометража заключается в суммировании времени, затраченного на однотипные виды работ, выполняе-

мые в различные промежутки дня (например, ходьбу, прием пищи, отдых сидя и т.д.). Данные хронометража заносят в таблицу 1.

Таблица 1 Определение суточного расхода энергии хронометражно-табличным методом (вес кг)

№	Вид деятельности	Продолжительность в мин.	Расход энергии	
			ккал/кг/мин	вычисление расхода энергии (ккал/кг/мин) × масса тела × время)
1. 2. 3. и т.д.				
		Итого:		Итого + 5%

Для определения расхода энергии пользуются данными таблицы 2, в которой указаны энергозатраты в ккал на 1 кг массы тела в минуту (ккал/кг/мин) для отдельных видов состояния организма, деятельности и работы. Приведенные данные включают энергозатраты на основной обмен. Если тот или иной вид выполненной работы в табл. 2 не указан, берут вид деятельности близкий к ней по характеру.

Затем время, затраченное на каждый вид деятельности, указанный в хронограмме, умножают на соответствующие табличные величины энергозатрат, расходуемых в 1 минуту на 1 кг массы тела и умножают на вес обследуемого. После чего суммируют энергозатраты по разным видам деятельности и находят суточный расход энергии данного человека в килокалориях. Полученную величину округляют до целого числа.

В целях покрытия расхода энергии на произвольные и неучтенные движения и компенсации других неточностей метода, найденный суточный расход энергии следует увеличить на 5%.

Таблица 2 Расход энергии при различных видах деятельности (включая основной обмен)

п/п	Вид деятельности	Энергозатраты ккал/кг/мин.
	2	3

	I. Сон	0,0155
II. Учебное время		
	Слушание лекций	0,0243
	Практические занятия лабораторные	0,0360
	Практические занятия семинарские	0,0250
	Практические занятия семинарско-лабораторные	0,0300
	Перерывы	0,0258
2. Внеучебное время		
	Подготовка к занятиям	0,0250
	Сбор на занятия	0,0455
	Дорога: ходьба по асфальтовой дороге (4-5 км/час) ходьба по полевой дороге (4-5 км/час) ходьба по снежной дороге ходьба со скоростью 6 км/час ходьба со скоростью 8 км/час езда в транспорте	0,0597 0,0626 0,0914 0,0714 0,1371 0,0267
3. Домашняя работа		
0.	Мытье пола	0,0548
1.	Мытье посуды	0,0343
2.	Вытирание пыли	0,0411
3.	Подметание пола	0,0402
4.	Глажение белья	0,0323
5.	Стирка белья вручную	0,0511
6.	Шитье, ручное вязание	0,0265
7.	Покупка товаров, продуктов	0,0450
8.	Уход за детьми	0,0360
	Работа в личном подсобном хозяйстве	0,0757

9.		
0	Пилка дров	0,1143
1.	Хозяйственная работа	0,0573
2.	Приготовление пищи	0,0330
3.	Уход за помещением, мебелью, бытовыми приборами	0,0402
4. Самообслуживание		
4.	Уборка постели	0,0329
5.	Прием пищи сидя	0,0236
6.	Умывание (по пояс)	0,0504
7.	Душ	0,0570
8.	Личная гигиена	0,0329
9.	Чистка одежды и обуви	0,0493
0.	Одевание и раздевание одежды и обуви	0,0264
5. Свободное время		
1.	Отдых стоя	0,0264
2.	Отдых сидя	0,0229
3.	Отдых лежа (без сна)	0,0183
4.	Чтение молча	0,0230
5.	Чтение вслух	0,0250
6.	Писание писем	0,0240
7.	Танцы легкие	0,0596
8.	Танцы энергичные	0,1614
9.	Пение	0,0290
0.	Игра в шахматы	0,0242
1.	Общественная работа	0,0490

2.	Воскресники (уборка территории)	0,0690
3.	Занятия физкультурой и спортом:	
	утренняя гимнастика (физические упражнения)	0,0648
	бадминтон	0,0833
	бильярд	0,0416
	бейсбол	0,0657
	баскетбол	0,2042
	бокс	0,2142
	верховая езда	0,0914
	волейбол	0,0773
	бег со скоростью 8 км/час	0,1357
	бег со скоростью 180 м/мин	0,1780
	бег со скоростью 320 м/мин	0,3200
	гимнастика (вольные упражнения)	0,0845
	гимнастика (занятия на снарядах)	0,1280
	гольф	0,0742
	гребля	0,1100
	дзюдо	0,3252
	езда на велосипеде (13-21 км/час)	0,1285
	катание на коньках	0,1017
	лыжный спорт (подготовка лыж)	0,0546
	лыжный спорт (передвижение по пересеченной местности)	0,2086
	лыжный спорт (учебные занятия)	0,1707
	мотобол	0,1485
	плавание	0,1190
	регби	0,1957
	ручной мяч	0,1957
стрелковые занятия с ружьем	0,0893	

	теннис	0,1095
	теннис настольный	0,0666
	футбол	0,1190
	хоккей на льду	0,4000
6. Работа на производстве		
4.	Работа бетонщика	0,0856
5.	Умственный труд	0,0243
6.	Работа врача хирурга	0,0855
7.	Работа в лаборатории стоя	0,0360
8.	Работа в лаборатории сидя	0,0250
9.	Работа в научной лаборатории	0,0309
0.	Работа каменщика	0,0952
1.	Работа на комбайне	0,0378
2.	Работа в учреждении	0,0257
3.	Вождение транспортных средств	0,0228
4.	Пошив одежды	0,0414
5.	Работа в сфере обслуживания (ремонт)	0,0328
6.	Работа парикмахера	0,0333
7.	Работа в столовой	0,0566
8.	Работа в пекарне	0,0383
9.	Работа на пивзаводе	0,0450
0.	Работа в прачечной	0,0566
1.	Работа в легкой промышленности	0,0466
2.	Работа медсестры, санитаря	0,0550
3.	Работа плотника	0,0833

4.	Работа почтальона	0,0857
5.	Работа сапожника	0,0429
6.	Работа в сельском хозяйстве	0,0785
7.	Работа столяра	0,0571
8.	Работа слесаря	0,0500
9.	Работа на счетной машине	0,0247
0.	Работа текстильщика	0,0450
1.	Работа химика-аппаратчика	0,0504
2.	Работа шахтера (добыча угля комбайном)	0,0504
3.	Работа шахтера (добыча угля отбойным молотком)	0,0713
4.	Работа шофера на грузовой машине	0,0466

Задание 2 Определение суточных энергозатрат скорым методом

Для ориентировочного определения суточных энергозатрат взрослого трудоспособного населения существует *скорый метод*, учитывающий коэффициент физической активности (КФА) и величину основного обмена (ВОО).

Коэффициент физической активности (КФА) - это отношение суточных энергозатрат к величине основного обмена.

Для расчета суточных энергозатрат необходимо умножить величину коэффициента физической активности, соответствующего определенной профессиональной группе (табл. 3) на величину основного обмена с учетом пола, возраста и массы тела (табл. 4):

$$\Sigma = \text{КФА} \times \text{ВОО}.$$

Найдите по таблицам величины КФА и ВОО и рассчитайте суточные энергозатраты.

Сравните и проанализируйте полученную величину с величиной энергозатрат, определенную хронометражно-табличным методом.

Таблица 3 Коэффициенты физической активности (КФА)

Группа труда	КФА	
	мужчины	женщины
I	1,4	1,4
II	1,6	1,6
III	1,9	1,9
IV	2,2	2,2
V	2,4	-

Таблица 4 Расход энергии на основной обмен

Основной обмен, ккал/сут									
мужчины					женщины				
возраст					возраст				
масса тела, кг	18-29 лет	30-39 лет	40-59 лет	60-74 лет	масса тела, кг	18-29 лет	30-39 лет	40-59 лет	60-74 лет
50	1450	1370	1280	1180	40	1080	1050	1020	960
55	1520	1430	1350	1240	45	1150	1120	1080	1030
60	1590	1500	1410	1300	50	1230	1190	1160	1100
65	1670	1570	1480	1360	55	1300	1260	1220	1160
70	1750	1650	1550	1430	60	1380	1340	1300	1230
75	1830	1720	1620	1500	65	1450	1410	1370	1290
80	1920	1810	1700	1570	70	1530	1490	1440	1360
85	2010	1900	1788	1640	75	1600	1550	1510	1430
90	2110	1990	1870	1720	80	1680	1630	1580	1500

Задание 3 Вычисление суточной потребности в основных пищевых веществах

Величина суточного расхода энергии определяет не только энергетическую ценность суточного рациона, а также является основой для расчета потребности в основных пищевых веществах (макронутриентах) - белках, жирах и углеводах. Суточный расход энергии должен компенсироваться за счет энергии, образующейся в организме при окислении этих веществ.

В соответствии с требованиями рационального (здорового) сбалансированного питания для здорового взрослого человека среднего возраста, с умеренной физической нагрузкой суточная энергетическая ценность рациона питания должна обеспечиваться за счет белков на 12%, жиров на 30% и углеводов на 58% (12:30:58).

С помощью этих соотношений, зная величину суточных энергозатрат, можно рассчитать необходимое количество белков, жиров и углеводов в рационах питания.

Пример: Суточная энергетическая ценность рациона питания составляет 2500 ккал.

Калорийность за счет белков должна быть равна:

$$2500 - 100\%$$

$$x - 12\%x = 300 \text{ ккал}$$

Общее количество белков, выраженное в граммах, будет равно:

$$\frac{300 \text{ ккал}}{4,0} = 75 \text{ г / сут.},$$

где 4,0 - энергетический коэффициент белков.

Количество жиров и углеводов в рационе питания определяют аналогично расчету белков в указанном примере, но с применением соответствующих процентов энергетической ценности и энергетических коэффициентов.

Наряду с расчетом общих количеств основных пищевых веществ, физиологическими требованиями предусматривается нормирование количества белков животного происхождения и жиров растительного происхождения:

- *белки животного происхождения* должны составлять не менее 55% от их общего количества (в граммах);

- *жиры растительного происхождения* должны составлять не менее 30% от их общего количества (в граммах).

Определение количеств минеральных веществ и витаминов проводится в соответствии с общепфизиологическими нормами питания.

Распределение суточных величин пищевого рациона по отдельным приемам пищи осуществляется с учетом рекомендаций режима питания.

Задание 4 Оценка пищевого статуса по антропометрическим показателям

Пищевой статус характеризует состав и функции организма человека, обусловленные питанием. Пищевой статус может быть обычным, оптимальным, избыточным или недостаточным.

Оценка пищевого статуса проводится по антропометрическим (рост, масса тела и др.), клиническим, функциональным, иммунологическим показателям, а также по биохимическим данным состояния белкового, жирового, углеводного, минерального и витаминного обменов, определению нутриентов в крови, моче и др.

Важнейшим показателем соответствия питания и состояния здоровья организма является *масса тела*. Для определения массы тела и ее оценке существует ряд методов.

Определение массы тела путем взвешивания

Измерение массы тела проводят взвешиванием на специальных весах с точностью до 100 г. Полученные данные сопоставляются с «идеальными», т.е. с рекомендуемыми *как норма* (табл. 5) или *с предельно допустимой массой тела* в зависимости от пола, возраста и роста (табл. 6).

При использовании таблицы *идеальной массы* ожирением считают увеличение массы тела на 15% и более, а при использовании таблицы *максимально нормальной массы* тела - на 10% и выше

Различают 4 степени ожирения: I степень - избыток массы тела на 10-30%, II степень - на 30-50%, III степень - на 50-100% и IV степень - на 100% и выше.

Определение нормальной массы тела расчетными способами:

- по формуле Брока:

Масса (кг) = рост (см) - 100 (при росте до 165 см)

Масса (кг) = рост (см) - 105 (при росте 165-175 см)

Масса (кг) = рост (см) - 110 (при росте более 175 см)

- по индексу Брейтмана:

Масса тела (кг) = рост (см) × 0,7 - 50

- по специальной формуле:

Масса тела (кг) = $\frac{\text{рост (см)} \times \text{окружность грудной клетки (см)}}{240}$

240

Определение индекса массы тела.

В настоящее время в международной и отечественной практике применяется высокоинформативный и простой показатель – индекс массы тела (ИМТ), называемый также *индексом Кетле*.

$$\text{Индекс массы тела (ИМТ)} = \frac{\text{масса тела (кг)}}{\text{рост}^2 \text{ (м)}}$$

Характеристика показателей индекса массы тела, принятая в России, в кг/м²:

Менее 20	-недостаточная масса тела;
20 – 24,9	-нормальная масса тела;
25 – 29,9	-избыточная масса тела;
30 – 34,9	-ожирение 1 степени (легкое);
35 – 39,9	-ожирение II степени (умеренное);
40 – и более	-ожирение III степени (тяжелое).

В соответствии с рекомендациями экспертов ВОЗ нижняя граница нормальной массы тела – 18,5 кг/м². Выделены три степени недостаточности массы тела в соответствии с ИМТ:

17,0 – 18,49 кг/м ²	1-я степень (легкая);
16,0 – 16,99 кг/м ²	2-я степень (умеренная);
менее 16,0 кг/м ²	3 степень (тяжелая).

Оформление результатов работы

Оформить рабочую таблицу суточных энергозатрат, записать расчеты индивидуальных норм питания, оценить пищевой статус по антропометрическим показателям, работу защитить у преподавателя.

Таблица 5 Рекомендуемая масса тела для мужчин и женщин в возрасте 25-30 лет

Мужчины				Женщины			
рост, см	масса, кг			рост, см	масса, кг		
	узкая грудная клетка (астеники)	нормальная грудная клетка (нормостеники)	широкая грудная клетка (гиперстеники)		узкая грудная клетка (астеники)	нормальная грудная клетка (нормостеники)	широкая грудная клетка (гиперстеники)
155,0	49,3	56,0	62,2	152,5	47,8	54,0	59,0
157,5	51,7	58,0	64,0	155,0	49,2	55,2	61,6

160,0	53,5	60,0	66,0	157,0	50,8	57,0	63,1
162,5	55,3	61,7	68,0	160,0	52,1	58,5	64,8
165,0	57,1	63,5	69,5	162,5	53,8	60,0	66,3
167,5	59,3	65,8	71,8	165,0	55,3	61,8	67,8
170,0	60,5	67,8	73,8	167,5	56,6	63,0	69,0
172,5	63,3	69,7	76,8	170,0	57,8	64,0	70,0
175,0	65,3	71,7	77,8	172,5	59,0	65,2	71,2
177,5	67,3	73,8	79,8	175,0	60,3	66,5	72,5
180,0	68,9	75,2	81,2	177,5	61,5	67,7	73,7
182,5	70,9	77,2	83,6	180,0	62,7	68,9	74,9
185,0	72,8	79,2	85,2				

Примечание. В возрасте свыше 30 лет допускается увеличение массы тела по сравнению с приведенными таблицами от 2,5 до 5 кг у женщин, от 2,5 до 6 кг у мужчин.

Таблица 6 Определение предельно допустимой массы тела (кг) в зависимости от возраста (по М.Н. Егорову и Л.М. Левицкому)

рост, см	Возраст, годы									
	20-29		30-39		40-49		50-59		60-69	
	муж- чины	жен- щины	муж- чины	жен- щины	муж- чины	жен- щины	муж- чины	жен- щины	муж- чины	жен- щины
148	50,8	48,4	55,0	52,3	56,6	54,7	56,0	53,2	53,9	52,2
150	51,3	48,9	56,7	53,9	58,1	56,0	58,0	55,7	57,3	54,8
152	53,1	51,0	58,7	55,0	61,5	59,5	61,1	57,6	60,3	55,9
154	55,3	53,0	61,6	59,1	64,5	62,4	63,8	60,2	61,9	59,0
156	58,5	55,8	64,4	61,5	67,3	66,0	65,8	62,4	63,7	60,9
158	61,2	58,1	67,3	64,1	70,4	67,9	68,0	64,5	67,0	62,4
160	62,9	59,8	69,2	65,8	72,3	69,9	69,7	65,8	68,2	64,6
162	64,6	61,6	71,0	68,5	74,4	72,2	72,7	68,7	69,1	66,5
164	67,3	63,6	73,9	70,8	77,2	74,0	75,6	72,0	72,2	70,0
166	68,8	65,2	74,5	71,8	78,0	76,5	76,3	73,8	74,3	71,5
168	70,8	68,5	76,2	73,7	79,6	78,2	77,9	74,8	76,0	73,3
170	72,7	69,2	77,7	75,8	81,0	79,8	79,6	76,8	76,9	75,0
172	74,1	72,8	79,3	77,0	82,8	81,7	81,1	77,7	78,3	76,3

174	77,5	74,3	80,8	79,0	84,4	83,7	82,5	79,4	79,3	78,0
176	80,8	76,8	83,3	79,9	86,1	84,6	84,1	80,5	81,9	79,1
178	83,0	78,2	85,6	82,4	88,0	86,1	86,5	82,4	82,8	80,9
180	85,1	80,9	88,0	83,9	89,9	88,1	87,5	84,1	84,4	81,6
182	87,2	83,3	90,6	87,7	91,4	89,3	89,5	86,5	85,4	82,9
184	89,1	85,5	92,0	89,4	92,9	90,9	91,6	87,4	88,0	85,8
186	93,1	89,2	95,0	91,0	96,6	92,9	92,8	89,6	89,0	87,3
188	95,8	91,8	97,0	94,4	98,0	95,8	95,0	91,5	91,5	88,8
190	97,1	92,3	99,5	96,6	100,7	97,4	99,4	95,6	94,8	92,9

3. Контрольные вопросы

1. Что такое энергетический обмен организма?
2. Из каких видов складываются суточные энергозатраты человека?
3. Какие методы служат для определения энергозатрат?
4. Что такое энергетическая ценность питания?
5. В каких единицах выражается энергетическая ценность питания и энергетические затраты организма человека?
6. Что такое энергетический коэффициент пищевых веществ?
7. Что такое энергетический баланс организма?
8. Что такое пищевой статус?

Список рекомендованной литературы

1. Физиология человека [Текст]: учебник / под ред. В. М. Покровского, Г. Ф. Коротько. - Изд. 3-е, стер. - Москва: Медицина, 2013. - 664 с.
2. Дмитриев А. Д. Биохимия: учебное пособие / Алексей Дмитриевич Дмитриев, Елена Дмитриевна Амбросьева. - М.: Дашков и К, 2012. - 168 с.
3. Пинчук, Л. Г. Биохимия [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л. Г. Пинчук, Е. П. Зинкевич, С. Б. Гридина. - Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2011. - 364 с
4. Чиркин А. А. Практикум по биохимии: Учебное пособие / А. А. Чиркин. - М.: Новое знание, 2002. - 512 с.
5. Юшкова, О. И. Основы физиологии человека [Текст]: учебное пособие для студентов горных вузов / О. И. Юшкова.

- М.: МГГУ, 2004. - 246 с.

6. Кнорре Д. Г. Биологическая химия: учебник для студентов вузов / Д. Г. Кнорре, С. Д. Мызина. - 3-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2003. -479с.

7. Камкин А. Г. Атлас по физиологии [Текст]: атлас / А. Г. Камкин; И. С. Киселева. - Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2013 -. В 2-х т. Т. 1. - 408 с.