

С.С. Михайлов

БИОХИМИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УЧЕБНИК



СПОРТ

ББК 28.072
М69

Рецензенты:

Галебская Л. В. – доктор медицинских наук, профессор,
зав. кафедрой биологической химии
Санкт-Петербургского государственного
медицинского университета им. акад. И.П. Павлова;
Комов В. П. – доктор биологических наук, профессор
Санкт-Петербургской химико-фармацевтической
академии

Михайлов С. С.

М69 Биохимия двигательной деятельности [Текст] : учебник
для вузов и колледжей физической культуры / С. С. Михай-
лов. – 6-е изд., доп. – М. : Спорт, 2016. – 296 с. : ил.

ISBN 978-5-906839-41-1

Учебник написан в соответствии с Государственным образова-
тельным стандартом по биохимии для вузов физической культуры.
В первой части учебника описаны строение и свойства главных клас-
сов органических соединений организма, рассмотрены основные ме-
таболические процессы, дана биохимическая характеристика крови
и мочи. Во второй части учебника всесторонне освещены биохими-
ческие аспекты мышечной деятельности, рассмотрены молекулярные
основы спортивной работоспособности и затронуты проблемы фарма-
кологической коррекции работоспособности и питания спортсменов.

Для самоконтроля при самостоятельной подготовке даны тесто-
вые задания.

Предназначен для студентов дневной и заочной форм обучения
высших и средних специальных учебных заведений физической куль-
туры.

ББК 28.072

ISBN 978-5-906839-41-1

© Михайлов С. С., 2002
© Михайлов С. С., 2016
© Оформление. ООО «Издательство
“Спорт”», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть 1. БИОХИМИЯ ЧЕЛОВЕКА

Введение	3
Глава 1. Строение и биологическая роль белков	4
Глава 2. Строение и биологическая роль нуклеиновых кислот	20
Глава 3. Строение и биологическая роль углеводов	26
Глава 4. Строение и биологическая роль липидов	30
Глава 5. Витамины	33
Глава 6. Гормоны	40
Глава 7. Общая характеристика обмена веществ	48
Глава 8. Ферментативный катализ	54
Глава 9. Обмен белков	68
Глава 10. Обмен нуклеиновых кислот	82
Глава 11. Обмен углеводов	87
Глава 12. Обмен жиров	94
Глава 13. Биохимия крови	101
Глава 14. Биохимия почек и мочи	118
Глава 15. Водно-минеральный обмен	129
Ответы на тестовые задания	139

Часть 2. БИОХИМИЯ СПОРТА

Введение	140
Глава 1. Строение и химический состав мышц. Механизм мышечного сокращения и расслабления	141
Глава 2. Биоэнергетика мышечной работы	152
Глава 3. Спортивная работоспособность	169

Глава 4.	Биохимическое обоснование спортивно-педагогических методов развития компонентов работоспособности	178
Глава 5.	Молекулярные механизмы утомления	183
Глава 6.	Биохимические закономерности восстановления ..	192
Глава 7.	Биохимические закономерности адаптации к мышечной работе	200
Глава 8.	Работоспособность и питание	216
Глава 9.	Биохимический контроль в спорте	230
Глава 10.	Допинги и допинговый контроль	241
	<i>Ответы на тестовые задания</i>	248
	Словарь терминов (гlossарий)	249
	Рекомендуемая литература	290

Часть 1

БИОХИМИЯ ЧЕЛОВЕКА

ВВЕДЕНИЕ

Биохимия изучает химические и физико-химические процессы, протекающие в организме человека и лежащие в основе жизнедеятельности.

Обычно выделяют три главные задачи, стоящие перед этой научной дисциплиной:

- Изучение химического состава организма человека, строения и свойств молекул, из которых он состоит.
- Изучение обмена веществ, т.е. химических превращений, которым подвергаются входящие в организм молекулы.
- Изучение особенностей химического состава и обменных процессов в отдельных органах и жидкостях организма (печень, почки, кровь, моча).

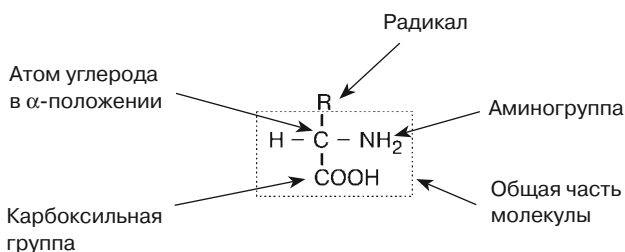
Биохимия является базовой, фундаментальной дисциплиной, создающей необходимые предпосылки для последующего освоения студентами других медико-биологических предметов (физиология, биомеханика, гигиена, спортивная медицина и др.).

Глава 1

СТРОЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БЕЛКОВ

1.1. СТРОЕНИЕ АМИНОКИСЛОТ

По строению белки – это высокомолекулярные азотсодержащие соединения, состоящие из **аминокислот**. В состав белковых молекул могут входить десятки, сотни и тысячи остатков аминокислот. Однако все белки, независимо от происхождения, синтезируются лишь из 20 видов аминокислот. Эти 20 видов аминокислот называются **протеиногенными**, и их строение можно отразить следующей формулой:



Поскольку аминогруппа у таких аминокислот находится в α -положении (у углерода, ближайшего к карбоксильной группе), их называют α -аминокислотами. У всех аминокислот можно выделить общую, одинаковую часть молекулы, содержащую аминную и карбоксильную группы (выделена пунктирной рамкой). Другая же часть молекулы, обозначенная как радикал (R), у каждой из 20 аминокислот имеет специфическое строение, и аминокислоты отличаются друг от друга только радикалами.

Некоторые белки содержат помимо 20 приведенных выше аминокислот в очень малых количествах еще другие виды аминокислот, которые называются **минорными**. Образуются эти аминокислоты из протеиногенных аминокислот после завершения синтеза белковых молекул.

В табл. 1 приведены классификация, строение и некоторые свойства аминокислот, входящих в белки человека.

Таблица 1

Классификация, строение и некоторые свойства аминокислот

№ п/п	Название аминокислоты	Формула аминокислоты	Заменяемая или незаменимая ¹	Суточная потребность, г
1	2	3	4	5
I. Ациклические аминокислоты				
<i>Моноаминомонокарбоновые кислоты</i>				
1.	Глицин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Заменяемая	2–4
2.	Аланин	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Заменяемая	2–4
3.	Серин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Заменяемая	2–4
4.	Цистеин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{SH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Заменяемая	2–4
5.	Треонин	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Незаменимая	2–3
6.	Метионин	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{S} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Незаменимая	2–4

¹ Заменяемыми называются аминокислоты, которые могут синтезироваться в организме. Незаменимые аминокислоты в организме не синтезируются и поэтому должны поступать с пищей.

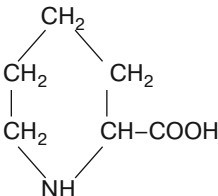
Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5
7.	Валин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменимая	3–4
8.	Лейцин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменимая	4–6
9.	Изолейцин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменимая	3–4
<i>Моноаминодикарбоновые кислоты и их амиды</i>				
10.	Аспарагиновая кислота	$ \begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Заменимая	5–7
11.	Аспарагин (амид аспарагиновой кислоты)	$ \begin{array}{c} \text{CO} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Заменимая	2–4
12.	Глутаминовая кислота	$ \begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Заменимая	10–15

Продолжение табл. 1

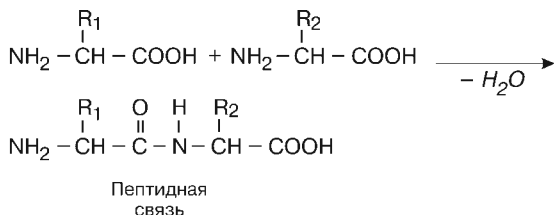
1	2	3	4	5
13.	Глутамин (амид глутаминовой кислоты)	$ \begin{array}{c} \text{CO} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Заменяемая	5–7
<i>Диаминомонокarбоновые кислоты</i>				
14.	Лизин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{NH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменяемая	3–5
15.	Аргинин	$ \begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C} = \text{NH} \\ \\ \text{NH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменяемая только для детей	5–7
II. Циклические аминокислоты				
16.	Фенилаланин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Незаменяемая	2–4
17.	Тирозин (оксифенил- аланин)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $	Заменяемая	3–4

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
18.	Триптофан	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $ 	Незаменимая	0,5–1,0
19.	Гистидин	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array} $ 	Незаменимая только для детей	1–3
20.	Пролин		Заменимая	4–5

1.2. СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ БЕЛКА

Аминокислоты, соединяясь друг с другом **пептидной связью**, образуют длинные неразветвленные цепи – **полипептиды**. Пептидная связь возникает при взаимодействии карбоксильной группы одной аминокислоты и аминогруппы другой аминокислоты с выделением воды:



Следует подчеркнуть, что пептидные связи образуются только за счет взаимодействия amino- и карбоксильных групп, обязательно входящих в общую часть белковой молекулы. Amino- и карбоксильные группы, находящиеся в радикале некоторых аминокислот (см. табл. 1), участия в формировании пептидных связей не принимают.

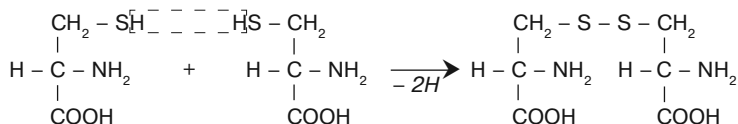
Пептидные связи, являясь ковалентными, обладают высокой прочностью, их образуют все аминокислоты.

В состав полипептидов входят десятки, сотни и тысячи остатков аминокислот. У каждого полипептида аминокислотные остатки располагаются в строгой последовательности, закодированной в молекулах ДНК.

Таким образом, полипептиды отличаются друг от друга количеством аминокислотных остатков и последовательностью их расположения в полипептидных цепях.

В состав белковой молекулы входит один или несколько полипептидов.

Кроме пептидных, в белках обнаруживаются еще **дисульфидные связи**, которые также являются ковалентными. В образовании таких связей участвуют только аминокислота **цистеин**. В радикале цистеина содержится SH-группа, за счет которой остатки цистеина могут соединяться друг с другом:



Дисульфидной связью являются два атома серы, с помощью которых происходит соединение двух остатков молекул цистеина. Эту связь еще называют дисульфидным мостиком. (Два остатка цистеина, соединенных дисульфидной связью, имеют название **цистин**. Однако цистин не кодируется и не участвует в синтезе белковой молекулы. Поэтому цистин не является протеиногенной аминокислотой.)

В молекулах белков дисульфидная связь возникает между остатками цистеина, входящими в состав полипептидов.

В одних случаях остатки цистеина находятся в разных участках одного и того же полипептида и обязательно пространственно сближены. Благодаря образованию дисульфидной связи, полипептидная цепь приобретает определенную пространственную форму.

Дисульфидной связью могут также соединиться остатки цистеина, находящиеся в разных полипептидах, но пространственно сближенные. Образование дисульфидной связи в этом случае приводит к объединению полипептидов в общую молекулу.

По сравнению с пептидной связью дисульфидная связь является менее прочной. Количество дисульфидных связей в молекулах белков намного меньше, чем пептидных.

Наряду с ковалентными связями в молекулах белков могут встречаться и слабые нековалентные связи, к которым относятся **водородные, ионные** и другие. Эти химические связи могут возникать между остатками аминокислот, расположенных в разных участках одного и того же полипептида и пространственно сближенных. Образование таких связей также способствует формированию пространственной формы белковой молекулы.

Пространственная форма белковых молекул

Молекула белка является объемным, трехмерным образованием, имеющим определенную пространственную форму. Для удобства рассмотрения пространственного строения молекулы белка условно выделяют четыре уровня ее структурной организации.

Первый уровень пространственной организации белковой молекулы называется **первичной структурой** и представляет собою последовательность расположения аминокислот в полипептидных цепях. Фиксируется эта структура прочными пептидными связями. Другими словами, первичная структура характеризует химическое строение полипептидов, образующих белковую молекулу. Каждый индивидуальный белок имеет уникальную первичную структуру.

Второй уровень пространственной организации – **вторичная структура** описывает пространственную форму полипептидных цепей. Например, у многих белков полипептидные цепи имеют форму спирали. Фиксируется вторичная структура дисульфидными и различными нековалентными связями.

Третий уровень пространственной организации – **третичная структура** отражает пространственную форму вторичной структуры. Например, вторичная структура в форме спирали, в свою очередь, может укладываться в пространстве в виде глобулы, т.е. имеет шаровидную или яйцевидную форму. Стабилизируется третичная структура слабыми нековалентными связями, а также дисульфидными связями и поэтому является самой неустойчивой структурой.

Пространственная форма всей белковой молекулы получила название **конформация**. Поскольку в молекуле белка наряду с прочными ковалентными связями имеются еще менее прочные связи (дисульфидные, нековалентные), то его конформация характеризуется нестабильностью и может легко изменяться.

Изменение пространственной формы белка влияет на его биологические функции. Конформация, находясь в которой белок обладает биологической активностью, называется **нативной**. Любые воздействия на белок, приводящие к нарушению этой конформации, сопровождаются частичной или полной утратой белком его биологических свойств. Изменение конформации в небольших пределах обратимо и является одним из механизмов регуляции биологических функций белков в организме.

Четвертичной структурой обладают только некоторые белки. Четвертичная структура – это сложное надмолекулярное образование, состоящее из нескольких белков, имеющих свою собственную первичную, вторичную и третичную структуры. Каждый белок, входящий в состав четвертичной структуры, называется субъединицей. Например, белок крови – гемоглобин состоит из четырех субъединиц двух типов (α и β) и имеет строение $\alpha_2\beta_2$. Ассоциация субъединиц в четвертичную структуру приводит к возникновению нового биологического свойства, отсутствующего у свободных субъединиц. Например, формирование четвертичной структуры в ряде случаев сопровождается появлением каталитической активности, которой нет у отдельных субъединиц.

Объединяются субъединицы в четвертичную структуру за счет слабых нековалентных связей, и поэтому четвертичная структура неустойчива и легко диссоциирует на субъединицы. Образование и диссоциация четвертичной структуры является еще одним механизмом регуляции биологических функций белков.

Из всех структур белка кодируется только первичная. За счет информации, заключенной в молекуле ДНК, синтезируются полипептидные цепи (первичная структура). Высшие структуры (вторичная, третичная, четвертичная) возникают самопроизвольно в соответствии со строением полипептидов.

Классификация белков

Согласно классификации, основанной на химическом составе, белки делятся на **простые** (протеины) и **сложные** (протеиды). Простые белки состоят только из аминокислот, т.е. из одного или нескольких полипептидов. К простым белкам, имеющимся в организме человека, относятся **альбумины, глобулины, гистоны, белки опорных тканей**. В молекуле сложного белка, кроме аминокислот, еще имеется неаминокислотная часть, называемая **протетической группой**. В зависимости от строения протетической группы выделяют такие сложные белки, как **фосфопро-**

теиды (содержат в качестве простетической группы фосфорную кислоту), **нуклеопротеиды** (содержат нуклеиновую кислоту), **гликопротеиды** (содержат углевод), **липопротеиды** (содержат липоид), **хромопротеиды** (содержат окрашенную простетическую группу) и др.

Возможна и другая классификация белков, вытекающая из их пространственной формы. В этом случае белки разделяются на два больших класса: **глобулярные** и **фибриллярные**.

Молекулы глобулярных белков имеют шарообразную или эллипсоидную форму. Примером таких белков являются **альбумины** и **глобулины** плазмы крови.

Фибриллярные белки представляют собою вытянутые молекулы, у которых длина значительно превышает их диаметр. К таким белкам, прежде всего, необходимо отнести **коллаген** – самый распространенный белок у человека и высших животных, на долю которого приходится 25–30% от общего количества белков организма. Коллаген обладает высокой прочностью и эластичностью. Этот белок широко распространен в организме, он входит в состав соединительной ткани и поэтому его можно обнаружить в коже, в стенках сосудов, в мышцах, сухожилиях, хрящах, костях, во внутренних органах.

1.3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕЛКОВ

Молекулярная масса белков

Белки, являясь высокомолекулярными соединениями, характеризуются большими величинами молекулярной массы. Поскольку в молекулы белков могут входить десятки, сотни и тысячи аминокислот, то их молекулярная масса колеблется в большом диапазоне: от 6000 дальтонов до миллионов. В качестве примера можно привести величины молекулярной массы следующих белков:

Инсулин (*гормон поджелудочной железы*) – 6000 Да¹

Миоглобин (*переносчик кислорода в мышечных клетках*) – 17 000 Да

Гемоглобин (*белок красных клеток крови*) – 68 000 Да

Миозин (*сократительный белок мышц*) – 500 000 Да

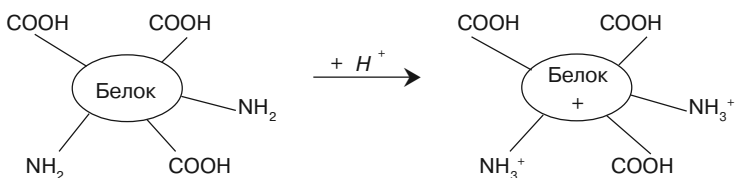
Глутаматдегидрогеназа (*фермент печени*) – 1 000 000 Да

¹ 1 Да (дальтон, атомная или углеродная единица) = $1,66 \cdot 10^{-24}$ г.

Амфотерность белков

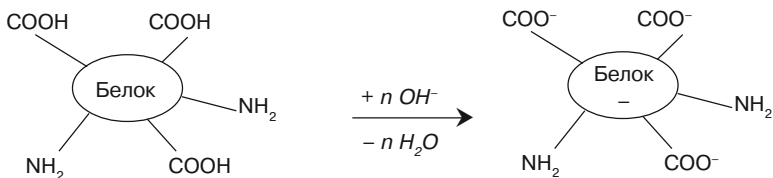
Амфотерность белков (наличие у молекул как кислотных, так и основных свойств) обусловлена присутствием в их молекулах свободных карбоксильных групп (кислотные группы) и аминогрупп (основные группы). Эти группы входят в состав радикалов аминокислот и, как было указано выше, не участвуют в образовании пептидных связей. Проявление белками кислотных или основных свойств зависит от кислотности среды.

В кислой среде ($\text{pH} < 7$) вследствие избытка ионов водорода (протонов) диссоциация карбоксильных групп подавлена. Свободные аминогруппы легко присоединяют к себе имеющиеся в избытке протоны и переходят в протонированную форму:



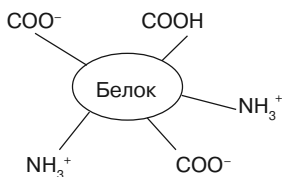
Таким образом, белки в кислой среде проявляют основные (щелочные) свойства и находятся в катионной форме (их молекулы заряжены положительно).

В щелочной среде ($\text{pH} > 7$) преобладают ионы гидроксила (OH⁻), ионов водорода мало. В этих условиях легко протекает диссоциация карбоксильных групп, протонирование аминогрупп практически не происходит:



Поэтому в щелочной среде белки обладают кислотными свойствами и находятся в анионной форме (их молекулы заряжены отрицательно).

Однако при определенной кислотности в молекуле белка может быть одинаковое количество диссоциированных карбоксильных групп (COO⁻) и протонированных аминогрупп (NH₃⁺). Такая белковая молекула не имеет заряда и является нейтральной.



Значение рН, при котором молекулы белка нейтральны, называется **изоэлектрической точкой** белка и обозначается **pI** или **pH_{изт.}** Для каждого белка изоэлектрическая точка имеет строго определенную величину. Значение pI зависит от соотношения в молекуле белка между аминокислотами, содержащими в радикале карбоксильную группу (моноаминодикарбоновые кислоты), и аминокислотами, содержащими в радикале аминогруппу (диаминомонокрбоновые кислоты). Если в белке преобладают аминокислоты с дополнительной карбоксильной группой, то значение изоэлектрической точки находится в кислой среде ($pI < 7$). В случае преобладания аминокислот со свободными аминогруппами изоэлектрическая точка имеет величину больше 7, т.е. находится в щелочной среде.

По значению pI можно установить заряд белка, находящегося в растворе с известным рН. Если рН раствора больше величины изоэлектрической точки, молекулы белка имеют отрицательный заряд. В растворах, у которых рН меньше изоэлектрической точки растворенного белка, белковые молекулы заряжены положительно и находятся в катионной форме. При этом чем больше отклонение рН от pI, тем больше величина соответственно отрицательного или положительного заряда.

Следовательно, при повышении или снижении кислотности изменяется заряд белковых молекул, что сказывается на свойствах белка и, в том числе, на его функциональной активности.

Растворимость белков

Несмотря на большой размер молекул ($1-100 \text{ нм}^1$), белки хорошо растворяются в воде и их растворы близки по свойствам к коллоидным растворам. Высокая стабильность белковых растворов обеспечивается факторами устойчивости.

Один из них – это наличие у белковых молекул заряда. Как выше отмечалось, только при одном строго определенном значении рН, равном изоэлектрической точке, белок нейтрален, при всех остальных значениях рН белковые молекулы имеют какой-

¹ $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

то заряд. Благодаря наличию заряда при столкновениях молекулы белка отталкиваются друг от друга, и их объединения в более крупные частицы не происходит.

Второй фактор устойчивости белковых растворов заключается в наличии у белковых молекул гидратной (водной) оболочки. Образование гидратной оболочки обусловлено тем, что различные неполярные (гидрофобные) группировки обычно располагаются внутри белковой молекулы, а полярные (гидрофильные) группы ($-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{SH}$, пептидные связи $-\text{CO}-\text{NH}-$) находятся на поверхности белковой молекулы. К этим полярным группам присоединяются молекулы воды, вследствие чего молекула белка окружается слоем из ориентированных молекул воды. Поэтому при столкновениях молекулы белка отделены друг от друга гидратными оболочками и их соединения не происходит.

Высаливание белков

Высаливание – это выпадение белка в осадок под действием водоотнимающих средств, к которым, в первую очередь, относятся соли (Na_2SO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и др.). Ионы солей, подобно белкам, также хорошо связывают воду. При высоких концентрациях вследствие низкой молекулярной массы солей количество их ионов огромно по сравнению с макромолекулами белков. В результате большая часть воды связывается с ионами солей, что приводит к значительному уменьшению гидратных оболочек у белков, снижению их растворимости и выпадением в осадок.

Наиболее эффективно высаливание при рН, равном изоэлектрической точке осаждаемого белка. В этом случае белок не только теряет гидратную оболочку, но и лишается заряда, что приводит к его полному осаждению.

Процесс высаливания не затрагивает структуру белковых молекул, и поэтому в осадок выпадает белок, сохраняющий свою нативность, т.е. свои биологические свойства.

Высаливание – процесс обратимый. При удалении водоотнимающего средства или при добавлении воды осадок белка растворяется и образуется полноценный раствор белка.

Денатурация белков

Под денатурацией понимается потеря белком его нативности. Денатурация, как правило, сопровождается выпадением белка в осадок.

Денатурация вызывается физическими и химическими факторами.

Физическими факторами являются: нагревание (выше 50–60°C), различные виды излучения (ультрафиолетовое и ионизирующее), ультразвук, вибрация.

К химическим факторам относятся: сильные кислоты и щелочи, соли тяжелых металлов, некоторые органические кислоты (трихлоруксусная и сульфосалициловая¹).

Под влиянием перечисленных факторов в молекулах белков разрываются различные непептидные связи, что вызывает разрушение высших (кроме первичной) структур и переход белковых молекул в новую пространственную форму. Такое изменение конформации приводит к утрате белками гидратных оболочек, их последующему выпадению в осадок и потере биологической активности.

При кратковременном действии денатурирующих факторов конформационные изменения незначительны, и поэтому возможен переход белка снова в нативную форму и восстановление его биологических свойств (ренатурация).

Продолжительное воздействие факторов денатурации вызывает необратимое глубокое изменение трехмерной структуры белковых молекул, что делает ренатурацию невозможной.

Биологическая роль белков

Белки выполняют в организме очень важные функции. К ним, в первую очередь, следует отнести следующие биологические функции:

- **Структурная** (строительная, пластическая). Эта функция заключается в том, что белки являются универсальным строительным материалом, из которого строятся все структурные образования организма и прежде всего – все клетки и все внутриклеточные органоиды. Белки также входят в состав межклеточного вещества. Поэтому белков в организме много и на их долю в среднем приходится 1/6 часть от массы тела человека.

- **Каталитическая.** В организме имеются особые белки, выполняющие функции катализаторов химических реакций. Такие белки получили название **ферменты** или **энзимы**. С помощью ферментов с большими скоростями протекают все химические реакции, составляющие обмен веществ (см. главу 7).

¹ Трихлоруксусную и сульфосалициловую кислоты нередко применяют в практике спорта для обнаружения белка в моче после выполнения физических нагрузок.

• **Сократительная.** В основе всех форм движения, и в первую очередь мышечного сокращения и расслабления, лежит взаимодействие белков. Благодаря сократительной функции животные, в отличие от растений, могут произвольно перемещаться в пространстве.

• **Регуляторная.** Белки обладают амфотерностью и могут взаимодействовать как с кислотами, так и с основаниями. Поэтому белки являются важнейшими буферами организма, поддерживающими кислотность на необходимом уровне. Белки также участвуют в регуляции осмотического давления¹ и распределении воды между кровью и различными органами. Некоторые белки, являясь гормонами, непосредственно участвуют в регуляции обмена веществ.

• **Транспортная.** Эта функция обусловлена тем, что белковые молекулы имеют большой размер, хорошо растворимы в воде и, перемещаясь по водным пространствам организма, могут переносить различные нерастворимые в воде соединения. Так, например, гемоглобин участвует в транспорте молекулярного кислорода от легких к различным органам, белки плазмы крови – альбумины – обеспечивают перенос жиров и жирных кислот.

• **Защитная.** Белки выполняют защитную функцию, участвуя в обеспечении иммунитета. К защитной функции часто относят участие белков в свертывании крови. В этом случае, благодаря образованию тромба, организм защищается от потери большого количества крови (см. главу 13).

• **Энергетическая.** Окисление белков, также как и всех других органических соединений, сопровождается выделением энергии. Однако роль белков как источников энергии невелика. В обычных условиях белки обеспечивают около 10% суточной потребности организма в энергии. Вклад белков в энергообеспечение организма возрастает при голодании и длительной физической работе, когда в организме исчерпываются запасы основных энергетических источников – углеводов и жиров.

Исходя из такой важнейшей биологической роли белков, их еще называют **протеинами**².

¹ Осмотическое давление – гидростатическое давление, вызванное разностью концентраций. Причиной возникновения осмотического давления является осмос – односторонняя диффузия молекул растворителя (чаще всего воды) через полупроницаемую мембрану в сторону раствора большей концентрации.

² От греч. proteus – «первый, главный».

Тесты для самоконтроля

1. Содержание белков в организме взрослого человека составляет:

- | | |
|-----------|-----------|
| а) 8–10% | в) 28–30% |
| б) 15–17% | г) 35–40% |

2. Обязательным химическим элементом, входящим в состав белков, является:

- | | |
|------------|----------|
| а) азот | в) селен |
| б) кальций | г) хлор |

3. Во все белки входят:

- а) 10 разновидностей аминокислот
- б) 20 разновидностей аминокислот
- в) 30 разновидностей аминокислот
- г) 40 разновидностей аминокислот

4. В состав аминокислот обязательно входят функциональные группы:

- а) альдегидная и спиртовая
- б) карбоксильная и альдегидная
- в) карбоксильная и аминная
- г) карбоксильная и спиртовая

5. Главной химической связью в белках является:

- | | |
|-----------------|--------------|
| а) водородная | в) ионная |
| б) дисульфидная | г) пептидная |

6. SH-группу содержит аминокислота:

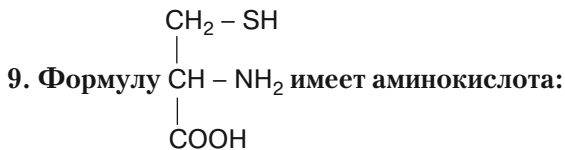
- | | |
|--------------------------|------------|
| а) аланин | в) глицин |
| б) аспарагиновая кислота | г) цистеин |

7. Формулу $\text{CH}_2 - \text{NH}_2$ имеет аминокислота:

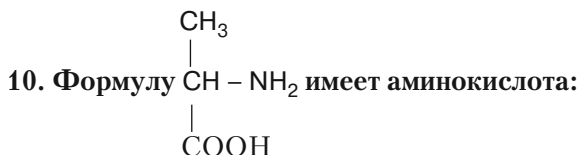
- | | | | |
|---|-----------|-------------|------------|
| $\begin{array}{c} \\ \text{COOH} \end{array}$ | | | |
| а) аланин | б) глицин | в) глутамин | г) цистеин |

8. В образовании дисульфидной связи участвует аминокислота:

- | | | | |
|-----------|-----------|-------------|------------|
| а) аланин | б) глицин | в) глутамин | г) цистеин |
|-----------|-----------|-------------|------------|



- а) аланин б) глицин в) глутамин г) цистеин



- а) аланин б) глицин в) глутамин г) цистеин

11. Первичная структура белковой молекулы фиксируется:

- а) водородными связями в) дисульфидными связями
б) ионными связями г) пептидными связями

12. Простые белки отличаются от сложных:

- а) молекулярной массой
б) отсутствием дисульфидных связей
в) отсутствием простетической группы
г) формой молекул

13. При денатурации у белков в первую очередь изменяется структура:

- а) первичная б) вторичная в) третичная

14. В кислой среде молекулы белков:

- а) имеют отрицательный заряд
б) имеют положительный заряд
в) нейтральны

15. В щелочной среде молекулы белков:

- а) имеют отрицательный заряд
б) имеют положительный заряд
в) нейтральны

Глава 2

СТРОЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

По своему строению нуклеиновые кислоты являются **полину-
клеотидами**, состоящими из очень большого количества **моно-
нуклеотидов (нуклеотидов)**.

2.1. СТРОЕНИЕ МОНОНУКЛЕОТИДОВ

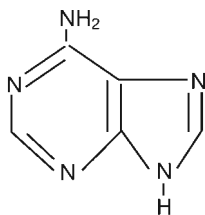
Любой нуклеотид обязательно включает в себя **азотистое
основание, углевод и фосфорную кислоту**.

Схема строения нуклеотида

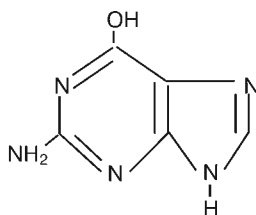
Азотистое основание – углевод – фосфорная кислота

Азотистые основания – циклические азотсодержащие соеди-
нения, обладающие основными (слабощелочными) свойствами.
Азотистые основания бывают двух типов: **пуриновые** и **пирими-
диновые**.

К пуриновым основаниям относятся **аденин** и **гуанин**, имею-
щие следующее строение:

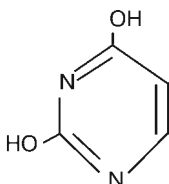


Аденин

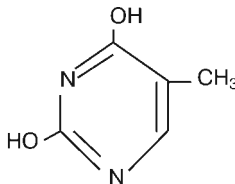


Гуанин

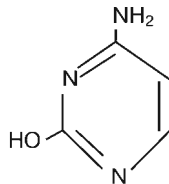
Пиримидиновыми основаниями являются **урацил, тимин**
и **цитозин**:



Урацил

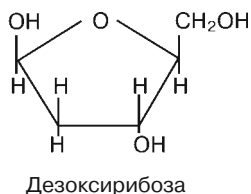
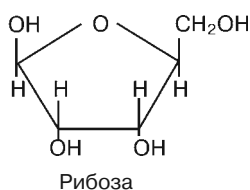


Тимин



Цитозин

Углеродом, входящим в состав нуклеотидов, может быть **рибоза** или **дезоксирибоза**, находящиеся в циклической форме:



Азотистые основания присоединяются к первому углеродному атому (C_1) углевода. Азотистое основание, связанное с углеводом, называется **нуклеозидом**.

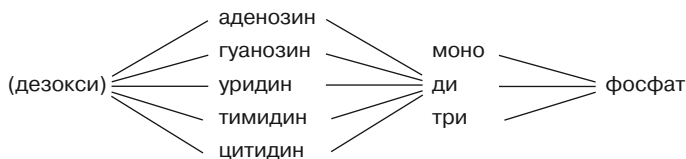
Нуклеозиды, содержащие аденин и гуанин, называются соответственно **аденозин** и **гуанозин**, а нуклеозиды с пиримидиновыми основаниями получили названия: **уридин**, **тимидин** и **цитидин**.

Если в состав нуклеозида входит дезоксирибоза, то в названии нуклеозида появляется приставка «дезокси». Например, нуклеозид, состоящий из аденина и рибозы, называется «аденозин», а нуклеозид, содержащий аденин и дезоксирибозу, носит название «дезоксиаденозин», или в сокращенном виде «д-аденозин».

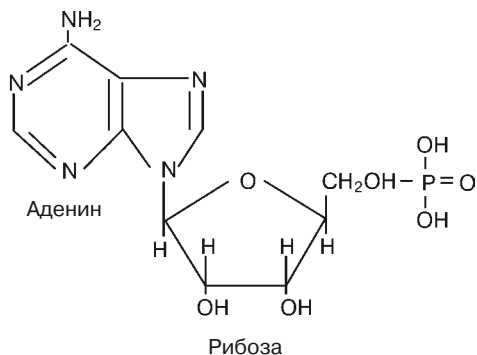
Фосфорная кислота присоединяется эфирной связью к пятому атому углерода рибозы или дезоксирибозы. Поэтому нуклеотиды можно рассматривать как нуклеозидфосфаты.

Нуклеотиды, входящие в состав нуклеиновых кислот, имеют один остаток фосфорной кислоты, а свободные нуклеотиды могут содержать от одного до трех фосфатных остатков.

Название нуклеотидов состоит из трех частей: название нуклеозида, входящего в данный нуклеотид; числительное, показывающее количество остатков фосфорной кислоты; слово «фосфат»:

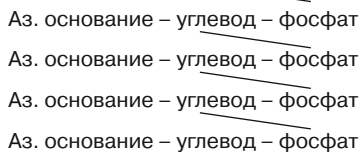


Например, нуклеотид, состоящий из аденина, рибозы и фосфорной кислоты, называется *аденозинмонофосфат*, или сокращенно **АМФ**, и имеет следующее строение:



2.2. СТРОЕНИЕ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

Нуклеотиды, входящие в нуклеиновые кислоты, соединяются друг с другом в длинные полинуклеотидные цепи эфирными связями, идущими от углевода одного нуклеотида к фосфорной кислоте соседнего:



В результате такого связывания образуется длинная цепь, состоящая из чередующихся остатков углевода и фосфорной кислоты. Азотистые основания непосредственно в эту цепь не входят; они, как боковые веточки, присоединяются к углеводам. Отличаются полинуклеотиды друг от друга длиной (т.е. количеством нуклеотидов) и последовательностью расположения азотистых оснований.

Оказалось, что в одну молекулу нуклеиновых кислот может входить углевод только одного вида – рибоза или дезоксирибоза. На этом основании все нуклеиновые кислоты делятся на два типа: **рибонуклеиновые** – **РНК** (содержат рибозу) и **дезоксирибонуклеиновые** – **ДНК** (содержат дезоксирибозу). Особенности строения и биологические функции РНК и ДНК отражены в табл. 2.

Таблица 2

Особенности строения и свойства РНК и ДНК

№ п/п	Особенности строения, свойства, биологическая роль	РНК	ДНК
1.	Химический состав: а) углевод б) азотистые основания	а) рибоза б) аденин, гуанин, урацил, цитозин (нет тимина)	а) дезоксирибоза б) аденин, гуанин, тимин, цитозин (нет урацила)
2	Количество нуклеотидов	Десятки, сотни и тысячи	Десятки и сотни тысяч
3.	Молекулярная масса	от 25 тыс. до 1 млн Да	Десятки млн Да
4.	Количество полинуклеотидных цепей в молекуле	Одна	Две
5.	Пространственная конфигурация	Спираль, конфигурация «клеверного листа», клубок	Двойная спираль линейной или кольчатой формы
6.	Локализация в клетке	Цитоплазма. Рибосомы. Ядро (мало)	Ядро. Митохондрии (мало)
7.	Биологическая роль	Передача и реализация генетической информации, участие в синтезе белков	Хранение генетической информации
8.	Главные представители	Информационная РНК (иРНК), рибосомная РНК (рРНК), транспортная РНК (тРНК)	Хроматин (комплекс ДНК и белков, входящий в хромосомы)

Как видно из таблицы, ДНК имеет более сложное строение. Состоит молекула ДНК из двух полинуклеотидных цепей, закрученных в спираль вокруг общей оси и образующих двойную спираль (рис. 1). Один виток каждой спирали содержит 10 нуклеотидов, диаметр двойной спирали около 2 нм. Азотистые