

**Министерство образования Кыргызской Республики
Кыргызско–Российский Славянский Университет**

Кучук Э.М.

**Биохимические основы
молекулярной организации клеточных структур
и регуляции их функций**

Учебное пособие

Бишкек
2005

Раздел: **Биомембраны**

Тема: **Биомолекулы. Белки и пептиды. Уровни структурной организации и физико-химические свойства белков.**

Цель: **Сформировать понятие о биомолекулах как основе структурно-функциональной организации живой материи.**

Целевые задачи:

- Биоэлементы – структурные компоненты биомолекул.
- Вода и неорганические ионы.
- Вода как организующая субстанция организма.
- Биомолекулы. Основные классы. Белки живых систем их роль.
- Белки и пептиды. Глобулярные и фибриллярные белки. Особенности их аминокислотного состава. Уровни структурной организации. Связи, стабилизирующие эти структуры.
- Физико-химические свойства белков и пептидов.
- Образование активных форм белковой молекулы. Роль воды и неорганических ионов в формировании и активации биомолекул.
- Биологические функции белков и пептидов.

Литература:

1. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия. М., 1998. С. 19-77.
2. Василенко Ю.К. Биохимия. М.: Высшая школа, 1978. С. 5–94.
3. Леви А., Сикевич Ф. Структура и функции клетки. М.: Мир, 1971. С. 18–43.
4. Ленинджер А. Основы биохимии. М.: Мир, 1985. Т. 1. С. 65–70.
5. Ленинджер А. Биохимия. М.: Мир, 1974. С. 9–174.
6. Марри Р., Гриннер Д., Мейес П., Родэлл В. Биохимия человека. М.: Мир, 1993. С. 12–14.
7. Николаев А.Я. Биологическая химия. М.: Высшая школа, 1989. С. 9–29, 36–48.
8. Оленин С.С., Фадеев Г.Н. Неорганическая химия. М.: Высшая школа, 1979. С. 174–190.
9. Страйер Л. Биохимия. М.: Мир, 1984. С. 94–264.
10. Строев Е.А. Биологическая химия. М.: Высшая школа, 1986. С. 16–26, 35–51.
11. Филиппович Ю.Б. Основы биохимии. М.: Высшая школа, 1969.

ВВЕДЕНИЕ

Живые системы, их основные признаки

Одно из самых удивительных явлений природы – бесконечно малые объемы, в которые способна укладываться биологическая организация. Величайшая пространственная компактность и энергетическая экономичность работы живых систем достигается, несомненно, за счет организации деталей живого механизма на молекулярном уровне, где универсальное значение приобретает углерод как материал для скелета биологических молекул, вода – как организующая субстанция биосистем, как среда жизненных процессов, макроэргические фосфатные соединения – как медиаторы энергетических превращений, нуклеиновые кислоты – как стабильные хранители наследственной информации, белки – как катализаторы и регуляторы, липиды – как непреходящие компоненты мембран, и т.д.

Основной структурной и функциональной единицей биологических систем является клетка. Клетка как одно-, так и многоклеточных организмов построена из биомолекул, состоящих из химических веществ, которые по своим свойствам сходны с аналогичными соединениями неживой природы. Важная структурная особенность клеток – относительно малые объемы, обусловленные оптимальным содержанием различных функционально взаимосвязанных биомолекул, имеющих фиксированную величину, задаваемую размерами атомов углерода, водорода, кислорода, азота и других элементов.

В клетках протекают многочисленные химические реакции. Химический характер процессов в организме обуславливает их подчинение основным химическим закономерностям. Вместе с тем живую материю отличают от неживой качественно новые признаки:

- высокий уровень структурной организации и функциональная взаимосвязь этих структур;
- способность к эффективному преобразованию и использованию энергии;
- обмен веществ и энергетических ресурсов с окружающей средой и саморегуляция химических превращений;
- способность живого к самовоспроизведению, самоорганизации и самовосстановлению.

Согласно второму закону термодинамики процессы, происходящие в любой изолированной системе, направлены в сторону увеличения ее беспорядка или энтропии. Так как живым организмам свойственна упорядоченность структурной организации и способность сохранять свою индивидуальность при условии постоянного обмена веществ и энергии с окружающей средой, они являются системами открытыми и энтропийная закономерность для них нехарактерна.

Постоянный приток энергии и вещества – одно из условий поддержания динамического стационарного состояния организма как системы. Другое условие – наличие механизмов, обеспечивающих извлечение и использование свободной энергии органических соединений, поступающих из окружающей среды, и использование веществ как строительного материала для обновления структурных компонентов живой системы. Для построения нужных организму биомолекул поступающие из внешней среды вещества подвергаются специфическим химическим превращениям, а продукты обмена выводятся из клеток организма. Ключевая роль в этих процессах принадлежит белкам-ферментам.

Живым организмам свойственна саморегуляция обменных процессов, связанная с повышением упорядоченности (уменьшением энтропии) клеточной организации, сохранением взаимосвязи организма с окружающей средой.

Нарушение притока энергии и вещества вследствие повреждения трансформаторов энергии приводит к возрастанию степени дезорганизации (энтропии) в живых системах и в конце концов к их гибели.

Уникальным признаком живых организмов является способность к самовоспроизведению, в основе чего лежит наследственная программа, закодированная в нуклеиновых кислотах.

Функциональная взаимосвязь клеточных структур, способность к эффективному использованию энергии, обмен веществ и энергетических ресурсов с окружающей средой, саморегуляция химических превращений и, наконец, реализация генетической информации обусловлены высоким уровнем структурно-функциональной организации клеток, где ведущая роль принадлежит белкам: структурным, регуляторным, белкам-катализаторам и многим другим.

Все это нехарактерно для неорганического мира, что и отличает его от мира живого.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЗМА

В живых системах, составляющих биомассу Земли, обнаружено свыше 70 элементов таблицы Д.И.Менделеева. Почти 99 % элементов, составляющих структуру биомолекул любого организма независимо от систематической принадлежности и уровня организации последнего, приходится на углерод, азот, водород, кислород, серу, фосфор. На остальные элементы приходится менее одного процента.

В соответствии с количественным содержанием элементов в организме их можно разделить на четыре группы:

макробиогенные (основные) элементы, содержание каждого из которых в организме превышает 1 %. К ним относятся углерод, кислород, водород, азот, фосфор и кальций;

олигобиогенные элементы, их концентрация составляет от 0,1 до 1 %. Это калий, сера, натрий, хлор, магний, железо;

микробиогенные элементы, содержание их в организме ниже 0,1 % – цинк, марганец, кобальт, медь, фтор, бром, йод;

ультрамикробиогенные элементы. Содержание их в организме составляет от 0,0001 до 0,000001 %. К этой группе относятся хром, бор, титан, селен, никель, алюминий, ванадий, кремний, олово, кадмий, мышьяк, литий.

В живых системах обнаруживаются следы всех элементов, присутствующих в окружающей среде. Однако для разных видов живых объектов набор элементов различается. Некоторые из элементов имеют универсальное значение (C, N, O, H, S, P, Na, Mg, Ca, Cl), другие требуются хотя и не всем, но многим видам живых систем (Fe, Cu, Mn, Zn, I, F). Вопрос о роли многих ультрамикроэлементов в живых организмах пока еще не решен, и поэтому нельзя быть уверенным, что тот или иной элемент действительно не требуется.

В наборе биогенных элементов в организме нет ничего случайного. Прослеживается строгий принцип в том, что относительно легкие атомы с малыми размерами и небольшим зарядом чаще всего включаются в жизненно важные системы. Включение их в биологические системы нельзя объяснить только распределением этих элементов на Земле. И хотя состав крови близок к составу вод океана по содержанию тех или иных элементов, главным для биогенности является особое сочетание свойств, делающих элементы наиболее подходящими для той роли, которую они выполняют в организме.

Относительное содержание C, N, O, S, P в биомолекулах организма гораздо выше, чем в земной коре. Эти элементы легко образуют наиболее прочные ковалентные связи посредством спаривания электронов, легко реагируют друг с другом, поэтому органические молекулы включают значительное число различных функциональных групп (гидроксильных –OH, карбоксильных –COOH, аминогрупп –NH₂, тиоловых –SH, фосфатных –OPO₃H₂ и др.).

Углерод, азот и кислород образуют ординарные и двойные связи, позволяющие создавать самые разнообразные химические соединения. Атомы углерода способны, помимо того, образовывать тройные связи с атомами азота и другими углеродными атомами. Ковалентно связанные атомы углерода могут создавать цепные или циклические каркасы множества органических молекул. Для соединений углерода характерно явление изомерии.

Углерод – уникальный элемент периодической системы, как никакой другой химический элемент может создавать стабильные молекулы разнообразных конфигураций и разме-

ров, с большим числом различных функциональных групп, что обеспечивает течение химических процессов, лежащих в основе функционирования живых систем.

Семь элементов – металлов (железо, кобальт, марганец, натрий, калий, кальций, магний) – являются кофакторами ферментов, составными частями ряда биологически активных соединений (например, Mg^{2+} в комплексе с АТФ), играющих важнейшую роль в основных процессах жизнедеятельности.

Перечень биогенных элементов можно расширить. Медь, цинк, молибден, никель, ванадий, хлор, бром, йод, селен и другие имеют существенное значение для функционирования жизненно важных систем – ферментов, гормонов и т.д.

Таблица 1

Элементы – структурные компоненты биомолекул живых систем и некоторые их функции

Группа	Элемент	Символы	Атомный номер	Некоторые функции
Основные элементы	Водород	H	1	Структурные компоненты органических соединений клетки
	Углерод	C	6	
	Азот	N	7	
	Кислород	O	8	
	Сера	S	16	
	Фосфор	P	15	
	Кальций	Ca	20	Универсальный участник реакций переноса энергии; обязательный компонент нуклеиновых кислот, фосфолипидов, гидроксиапатитов, активных форм моносахаридов Кофактор ферментов клеточных мембран, регулятор мембранной и мышечной активности
Олигобиогенные	Натрий	Na	11	Внеклеточный катион. Важнейший противоион, ответственный за потенциал действия. Кофактор Na^+ -зависимой АТФ-азы
	Калий	K	19	Внутриклеточный катион всех клеток, важный противоион, участвующий в нервном проведении, мышечном сокращении, Na^{2+} , K^+ -зависимая АТФ-аза. Na^+ и K^+ - ионы, играющие важную роль в регуляции водно-электролитного обмена, кислотно-щелочного равновесия Кофактор многих ферментов киназ, компонент зубов, костной ткани
	Магний	Mg	12	Входит в состав белков, пептидов и других важных соединений
	Сера	S	16	Кофактор многих окислительных ферментов, переносчик электронов. В соста-

	Железо	Fe	26	<p>ве гемоглобина и миоглобина переносчик кислорода</p> <p>Один из важнейших анионов, донор и акцептор электронов одновременно. Компонент соляной кислоты – активатор пепсина, регулятор электропроводности клеточных мембран</p>
	Хлор	Cl	17	
Микробиогенные	Цинк	Zn	30	Кофактор более 80 ферментов (алкогольдегидрогеназа, ДНК и РНК-полимераза, карбоангидраза, карбоксипептидаза и т.д.)
	Марганец	Mn	25	Кофактор многих ферментов
	Кобальт	Co	27	Компонент витамина В ₁₂
	Медь	Cu	29	Кофактор многих окислительных ферментов. Составная часть белков – переносчиков кислорода у многих морских организмов
	Фтор	F	9	Сильнейший окислитель. Составная часть фторапатитов
	Йод	I	53	Входит в состав гормонов тироксина и трийодтиронина
Ультрабиогенные	Селен	Se	34	Кофактор глутатионпероксидазы
	Хром	Cr	24	Регуляция синтеза соединительной ткани и роста костей
	Никель	Ni	28	
	Ванадий	V	23	
	Олово	Sn	50	
	Хром	Cr	24	«Кофактор толерантности к глюкозе» - активатор секреции инсулина
	Молибден	Mo	42	Кофактор ксантиноксидаз и альдегидоксидаз

От атома к клетке -
ИЕРАРХИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КЛЕТКИ

Живые организмы состоят из химических соединений (органических и неорганических), составляющих основу клеточных и внеклеточных биомолекул. Молекулярная организация живого организма начинается с простых молекул-предшественников, поступающих из внешней среды. Важнейшей структурообразующей основой биомолекул всего живого явля-

ется вода. Исключительна роль воды в создании условий жизнедеятельности, в образовании среды протекания физико-химических процессов, обеспечивающих постоянное возобновление живого вещества – белков, нуклеиновых кислот и других соединений.

Азот, кислород, водород, диоксид углерода, сера, фосфор, вода и ряд других элементов, являются низкомолекулярными предшественниками промежуточных органических соединений, из которых в ходе жизнедеятельности клеток образуются первичные биомолекулы – аминокислоты, моносахариды, нуклеотиды, жирные кислоты, органические спирты – холин, инозит, глицерин, сфингозин и др. Эти строительные блоки, связываясь ковалентно друг с другом, образуют макромолекулы – полимеры, имеющие большую молекулярную массу и отличающиеся большим разнообразием: простые и сложные белки, нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК), гомо- и гетерополисахариды (гликоген, крахмал, мукополисахариды, клетчатка), триглицериды, фосфо-, гликолипиды и др.

В отличие от макромолекул функция нуклеотидов, аминокислот, моносахаридов, жирных кислот в жизнедеятельности организмов более многогранна. Так, аминокислоты являются не только строительными блоками белков и пептидов, но и служат предшественниками многих важных веществ: медиаторов, гормонов, порфиринов, азотистых оснований, пигментов и других соединений. Нуклеотиды не только используются для построения молекул нуклеиновых кислот, но и выполняют роль коферментов, а нуклеотид-полифосфаты, как макроэргические соединения, служат источниками энергии.

Промежуточное положение между первичными биомолекулами и макромолекулами занимают макроциклические соединения – гем, цианкобаламин (витамин В₁₂), хлорофилл, ряд коферментов – НАД, ФАД, HS-КоА, которые являются составными частями сложных макромолекул.

Макромолекулы при помощи ковалентных и нековалентных связей (ионных взаимодействий, водородных связей, гидрофобных взаимодействий и ван-дер-Ваальсовых сил) соединяются в смешанные макромолекулы (липопротеиды, нуклеопротеиды, гликопротеиды, гликолипиды и т.д.).

Взаимодействие простых и смешанных макромолекул формирует надмолекулярные структуры – мембраны (плазматические, митохондриальные, ядерную, лизосомальную, ретикулярную сеть), микротрубочки, сократительные системы, рибосомы, хроматин, мультиферментные комплексы и др.

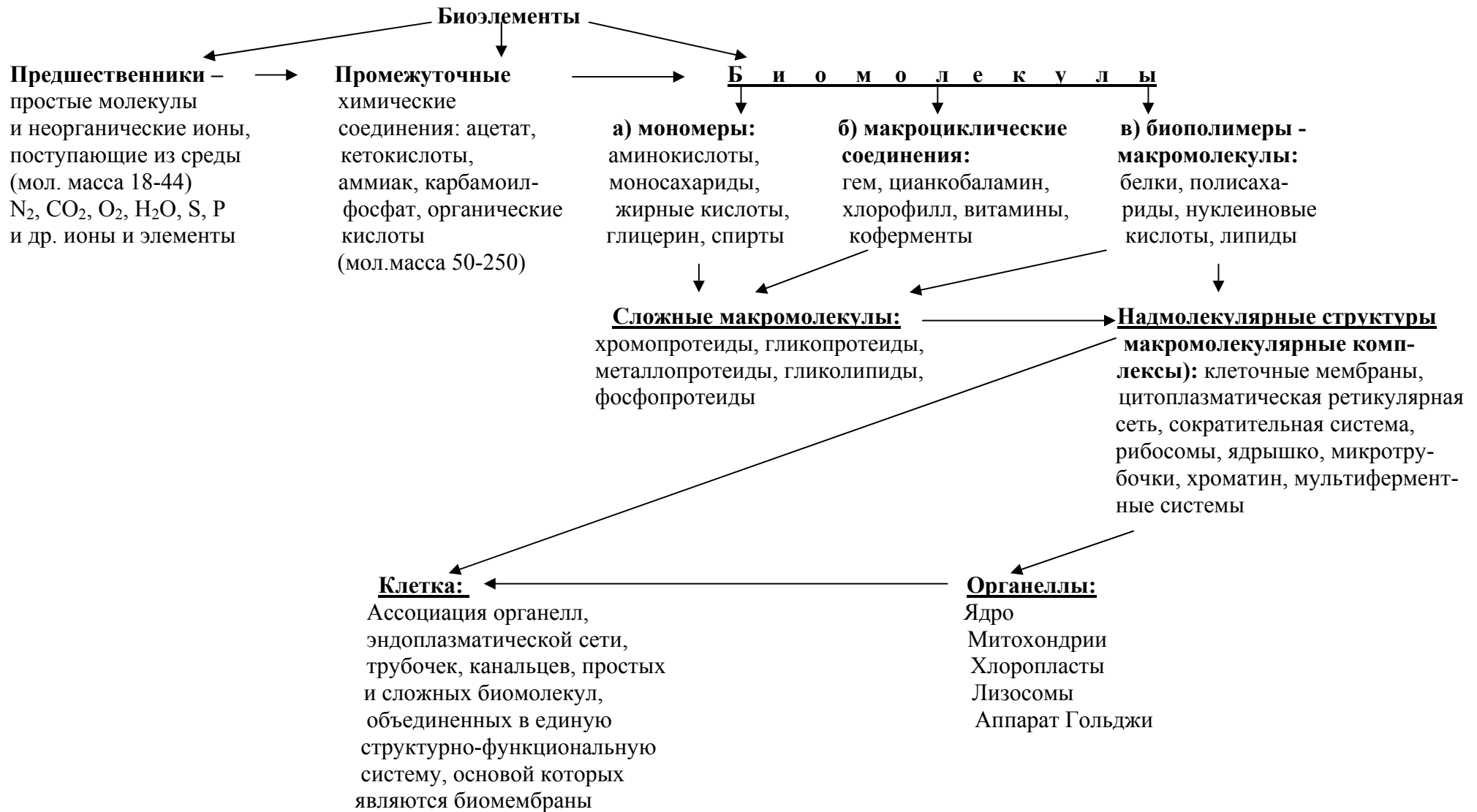
Надмолекулярные структуры, где важнейшим звеном являются мембраны, образуют морфологически различимые клеточные структуры – органоиды (ядро, митохондрии, лизосомы, аппарат Гольджи, эндоплазматическую сеть), которые отличаются относительной автономностью в выполнении специальных функций. Таким образом формируются усложняющиеся уровни молекулярной организации клетки (схема 1).

Клетка – упорядоченное, способное к самовоспроизведению, эффективному преобразованию и использованию энергии, открытая биологическая система с высоким уровнем организации функционально взаимосвязанных структур – органелл, макромолекулярных комплексов, каналцев, трубочек, простых и сложных биомолекул, организующей основой которых являются биомембраны. Биомембраны ограничивают клетку от среды окружения и разделяют ее внутреннее пространство на функционально различающиеся отсеки (компарменты), где осуществляются взаимосвязанные с окружающей средой процессы обмена веществ и энергии.

Несмотря на свои исключительно малые размеры, каждая клетка составляет основу микромира с чрезвычайно сложной внутренней организацией и пространственной разобщенностью ее компартментов, которые, однако, связаны в единое целое благодаря разветвленной системе метаболических процессов.

Пространственная упорядоченность, структурированность внутриклеточных элементов создает основу для осуществления специфических функций всех компонентов клетки.

УРОВНИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ СТРУКТУР И ИХ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ



ВОДА И НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ИОНЫ

1. Вода как организующая субстанция биологических систем, как среда жизненных процессов

Макро-, олиго- и микробиогенные элементы, образующие живую материю, присутствуют в организме в виде разнообразных химических соединений. Эти элементы входят в состав органических и неорганических соединений живого организма.

Около 75 % биомассы Земли составляет вода. Однако ее содержание в живых организмах разных видов, в различных тканях и органах этих организмов колеблется в значительных пределах. Так, древесные растения содержат 20-45 % воды, зерна злаков – 12-14 %. В организме млекопитающих содержание воды составляет 75 % от массы тела. У бактерий на воду приходится 75-85 % массы клетки, у медузы – до 99 %. Биологические жидкости – плазма крови, лимфа, слюна, спинномозговая жидкость содержат 88-99 % воды, в костной ткани человека и животных – 20-45 %. Содержание воды в теле человека в зависимости от возраста колеблется в пределах от 50 до 75 % от общей массы тела.

Чем моложе организм, тем выше в нем содержание воды. Так, у 4-месячного эмбриона человека содержание воды составляет 94 %, у новорожденного – 75 %, у взрослого человека – 67 %.

Содержание воды в организме зависит от многих причин и подвержено значительным индивидуальным колебаниям, которые определяются содержанием жира в организме, индивидуальными качествами тканевых белков, а у детей раннего возраста и характером вскармливания.

Таблица 2

Содержание и распределение воды в организме человека в зависимости от возраста (в % от массы тела)

<i>Возраст человека</i>	<i>Общая вода</i>	<i>Внутриклеточная вода</i>	<i>Вне клетки</i>	
			<i>межклеточная</i>	<i>плазма</i>
Новорожденные до 1 года	75	35	35	5
От 1 до 10 лет	70	35	30	5
От 10 до 50 лет	60-65	35-40	20-25	5
Более 50 лет	50-55	35-40	10	5

Значительные колебания в содержании воды наблюдаются в различных органах и тканях.

Таблица 3

Содержание воды в различных органах и тканях взрослого человека (в % от массы тела)

<i>Ткани или органы</i>	<i>Вода</i>	<i>Ткани или органы</i>	<i>Вода</i>
Жировая ткань	12,0	Мышца	75,6
Костная ткань	22,0	Селезенка	75,8
Печень	68,3	Легкие	79,0
Кожа	72,0	Сердце	79,2
Кишечник	74,5	Почки	82,7
Мозг:	74,8		
серое вещество	84	Кровь	83,0
белое вещество	70		

Содержание воды в клетке зависит от ее химического состава. Так, в бактериальной клетке на одну молекулу нуклеиновой кислоты приходится около миллиона, на одну белковую молекулу – около десяти тысяч, на каждую молекулу триглицерида – до тысячи молекул воды, что примерно соответствует 70 %-ному содержанию воды и 30 %-ному содержанию сухого вещества в клетке, где на долю нуклеиновых кислот приходится 15 %, белков – 70 %, липидов – 10 % и полисахаридов – 5 % сухого остатка.

Вода в организме человека и животных распределена между тремя пространствами: внутри клеток, вне клеток и в замкнутых пространствах.

Внутриклеточная вода локализована в структурах клеток и составляет две трети от всей массы воды в организме. Внутриклеточная вода создает условия, необходимые для: 1) преобразования, хранения и использования энергии; 2) осуществления гомеостаза; 3) репликации и 4) выполнения специфических функций.

Внеклеточная жидкость составляет одну треть всей воды и распределена между плазмой, интерстициальной жидкостью и жидкостью замкнутых полостей (синовиальной, плевральной, спинномозговой, суставной, перикардиальной).

Внеклеточная вода обеспечивает межклеточную коммуникацию. С ее помощью к клеткам поступают питательные вещества (аминокислоты, глюкоза, кислород, липопротеины, различные ионы и микроэлементы), а также многочисленные молекулы регуляторов (гормонов, биологически активных соединений), координирующих работу пространственно разобщенных клеток. Внеклеточная вода удаляет отходы метаболизма – токсичные и обезвреженные вещества из непосредственного окружения клеток.

Содержание воды в клетках коррелирует с интенсивностью биохимических и физиологических процессов в них. Так, содержание воды в активно делящихся клетках достигает 80 %, а в некоторых случаях даже 90 %.

В организме вода находится в свободной форме и связанной с клеточными структурами и биомолекулами вне- и внутриклеточной среды.

Будучи составной частью субклеточных структур, вода в значительной мере влияет на их функциональную активность: от степени набухания митохондрий зависит интенсивность протекающих в них процессов окислительного фосфорилирования, от гидратированности рибосом – поддержание их структуры и способности осуществлять синтез белка. Только при определенной оводненности органоидов, мембран, белков и нуклеиновых кислот проявляется их высокая биологическая активность.

Таким образом, с современной точки зрения вода организма не может рассматриваться как инертная среда, заполняющая пространство между макромолекулами, субклеточными структурами и клетками.

«Нельзя говорить о белках, нуклеиновых кислотах, нуклеопротеидах и воде, так как если бы это были две различные системы. Они образуют единую систему, которую нельзя разделить на компоненты без разрушения ее сущности» (Сент-Дьерди).

Исключительная роль воды в качестве структурного элемента как компонентов клеточных структур, так и биомолекул внеклеточной жидкости объясняется тем, что вода обладает уникальными физико-химическими свойствами, определяющими идеальную ее пригодность для той биологической роли, которую она выполняет. Необычные свойства воды в основном обусловлены тремя причинами: полярным характером молекул, наличием неподеленных пар электронов у атомов кислорода и способностью к образованию водородных связей.

Молекула воды представляет собой электрический диполь. Электрофильный атом кислорода притягивает спаренные электроны от атомов водорода и приобретает два относительно отрицательных заряда, а оба атома водорода – положительные заряды. Благодаря полярности молекул воды, их способности к диссоциации, активируется диссоциация других веществ, которые широко представлены в биологических системах.

Присутствие в молекуле воды двух атомов водорода и двух необобщенных электронных пар обуславливает образование четырех пар водородных связей. В водном растворе диполи воды ориентируются вокруг ионов электролитов, располагаясь отрицательно заряженными полюсами к катионам, а к анионам – положительными. Гидратируются также высокомолекулярные соединения, содержащие полярные ионогенные группировки (альдегидные, спиртовые, амино-, карбоксильные и др.).

При взаимодействии с ионами как неорганических так и органических соединений, в том числе и макромолекул, молекулы воды образуют вокруг них гидратные оболочки. Степень гидратации и мощность гидратной оболочки различных ионов и молекул зависит от размеров частиц и величин зарядов. Чем выше удельная плотность заряда (больше заряд и меньше размеры частиц), тем сильнее гидратация. Так, например, гидратная оболочка вокруг молекул альбумина более мощная, чем вокруг крупных молекул глобулярных белков. Благодаря гидратации ионов и молекул большая часть воды в клетках и биологических жидкостях находится в связанном состоянии. Водородные связи макромолекул также удерживают часть молекул воды. Вокруг ионизированных групп молекул белков, полисахаридов, нуклеиновых кислот диполи воды строго упорядочены сильным электрополем. Слой строго структурированной прочно связанной воды толщиной 1-2 нм составляет до 30 % массы гидратированной биомолекулы. В следующем слое гидратированной воды толщиной до 10 нм молекулы воды сохраняют некоторую ориентацию, образуют диффузионный слой гидратационных оболочек. Третий слой, далеко отстающий от иона, образуют молекулы свободной воды с обычной структурой. При этом важнейшей особенностью воды является способность ее молекул объединяться в структурированные ассоциации благодаря образованию водородных связей между разноименно заряженными полюсами диполей воды. Вследствие этого молекулы воды соответствующим образом ориентируются по отношению друг к другу, образуя структурированную систему.

Вода, связываясь с различными функциональными группами ионными и водородными связями как внутри надмолекулярных биоконплексов – органелл, эндоплазматического ретикулула, лизосом, рибосом и других субклеточных структур, обеспечивает их конформацию с преимущественным расположением гидрофильных групп на поверхности глобул, а гидрофобных – внутри ее. Не менее важное значение имеет вода в механизме структурной организации биологических мембран и их основы – билипидного слоя, в котором гидрофильные группировки каждого монослоя взаимодействуют с молекулами воды, ограждая от нее гидрофобное пространство внутри мембран между монослоями.

Стабилизация пространственной структуры мембран, белков и других биополимеров осуществляется в значительной мере за счет взаимодействия их с водой. Основой функционирования живых систем считается водно-липидбелково-нуклеиновый комплекс, поскольку только при наличии этих четырех составляющих возможна нормальная жизнедеятельность мембран. Избирательная проницаемость мембран зависит от состояния воды в этом комплексе.

Катионы, анионы и электромагнитные поля меняют свойства воды, обуславливая как разрыв, так и образование новых водородных связей, изменяют растворимость белков и молекул других органических соединений.

Велика и многообразна роль воды как основной среды протекания жизненных процессов. В этом отношении важны уникальные свойства воды, обуславливающие образование водородных связей, которые придают воде исключительную растворяющую способность. Благодаря этому вода является универсальной и доминирующей дисперсионной средой в биологических системах. Другое важное свойство воды – полярность молекул, способность к диссоциации. Благодаря этому свойству она активизирует диссоциацию других веществ, особенно слабых электролитов. При растворении в воде они диссоциируют и становятся реакционно-способными, что является условием их биологической активности.

Наибольшим диссоциирующим свойством обладают молекулы слабосвязанной воды. Прочно связанная вода, входящая в состав слоя, прилегающего к полярным группам макро-

молекул, обладает иными свойствами, по сравнению со всей остальной ее массой. Так, связанная вода имеет незначительное давление пара, замерзает при температуре значительно ниже 0°C , не способна растворять сахара, соли и другие обычно растворимые в воде вещества.

Способность связанной воды изменять свои свойства под влиянием растворенных веществ имеет важное биологическое значение. Так, пресноводные рыбы сохраняют активность в воде при температуре ее замерзания, т.к. концентрация растворенных веществ в крови рыб достаточно высока, а температура замерзания крови намного ниже, чем у чистой воды. Теплоёмкость воды больше чем вдвое превышает теплоёмкость любого биологического вещества.

Высокая теплопроводность и теплота парообразования, большая теплоёмкость воды обеспечивают надежную стабилизацию температуры тела.

Благодаря наличию в крови растворенных веществ, в том числе и белков, не способных проходить сквозь стенки капилляров, в крови создается более высокое осмотическое давление, чем в межклеточной жидкости. В результате этого вода диффундирует из клеточной жидкости в кровеносные капилляры, что способствует заполнению сосудистой системы и предохранению ее от коллапса.

Обладая низкой вязкостью, высокой подвижностью и способностью растворять большое число органических и неорганических соединений, вода выполняет транспортную функцию, служит средством переноса веществ между клетками, внутри клеток, между органами и тканями.

Необычайный характер взаимодействия между отдельными молекулами и ассоциатами обуславливает её уникальное физико-химическое свойство – большое поверхностное натяжение. Поверхностным натяжением объясняются капиллярные явления. Благодаря капиллярным явлениям вода с растворёнными в ней питательными веществами поднимается в растениях от корня к побегам и листьям и метаболитами (продуктами синтеза и распада) в обратном направлении – от листьев к нижним частям растения (транспирация).

Являясь основной средой организма, вода непосредственно участвует в ряде химических реакций – гидролизе, гидратации и дегидратации, является продуктом тканевого дыхания и микросомального окисления.

Таким образом, будучи структурообразующей субстанцией биологической системы и средой жизненных процессов, вода (по выражению Сент-Дьерди) в жизни любого организма выполняет роль «матрицы жизни». Нарушение водного гомеостаза как в клетках так и в целом организме приводит к тяжёлым последствиям вплоть до гибели организма.

2. Неорганические ионы, их свойства и биологические функции

В клетках организма и во внеклеточной среде многие элементы обычно находятся в виде ионов: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , NO_3^- . Содержание других катионов и анионов незначительно.

Ионный состав внутриклеточной жидкости сильно отличается от состава внеклеточной среды. Согласно физико-химическому закону электронейтральности сумма положительных зарядов катионов и отрицательных зарядов анионов в клетке и вне клетки должна быть равной.

Основным катионом во внеклеточной среде является ион Na^+ (90 %), а из анионов – Cl^- (70 %) и HCO_3^- (18 %). Внутри клетки преобладают катионы K^+ (75 %) и Mg^{2+} (15 %), а из анионов – ионы PO_3^{2-} (50 %) и SO_4^{2-} (10 %).

Более низкий уровень содержания неорганических анионов в клетке компенсируется анионами органических кислот (лимонной, молочной и др.) и кислых белков (табл. 4).

**Средние концентрации различных веществ
снаружи и внутри клеток млекопитающих**

Вещество	Внеклеточная жидкость	Внутриклеточная жидкость
Катионы		
Na ⁺	140 мМ	10 мМ
K ⁺	4 мМ	140 мМ
Ca ²⁺ (свободный)	2,5 мМ	0,1 мкМ
Mg ²⁺	1,5 мМ	30 мМ
Анионы		
Cl ⁻	100 мМ	4 мМ
HCO ₃ ⁻	27 мМ	10 мМ
PO ₄ ³⁻	2 мМ	60 мМ
Органические вещества		
Глюкоза	5,5 мМ	0-1 мМ
Белок	7 г/дл	16 г/дл

Абсолютное количество и баланс ионов в клетках и вне клетки поддерживаются в узких границах, что обусловлено особенностями структурной организации клетки, а именно клеточными мембранами, которые ограждают клетку от окружающей среды и обеспечивают раздел клетки на структурно-функциональные отсеки. Градиент концентраций основных неорганических ионов между внутриклеточным пространством и внеклеточной средой характерен только для живых организмов, после их гибели он исчезает. Градиент концентрации ионов по обе стороны мембраны создает в клетках потенциал порядка 60-80 мВ (милливольт). Любые изменения концентрации ионов и их баланса в клетках и среде их окружения приводят к выраженным изменениям ряда биологических свойств клеток – мембранной проницаемости, раздражимости, сократимости, вязкости протоплазмы, а также нарушению процесса клеточного деления.

Значение ионного баланса в функциональной активности мембранных структур клеток и других клеточных биомолекул можно наблюдать на примере антагонистического действия пары катионов: K⁺ и Ca²⁺. Так, K⁺ снижает вязкость протоплазмы клеток и, избирательно взаимодействуя с миозином, вызывает расслабление мышц, тогда как Ca²⁺ обуславливает переход цитоплазмы в состояние геля и инициирует мышечное сокращение. Ионная асимметрия Na⁺ и K⁺ в клетках, которая поддерживается Na⁺ и K⁺-зависимой АТФ-фазой, обуславливает величину мембранного потенциала. Катионы служат противоионами макромолекулярных компонентов клетки – белков и нуклеиновых кислот, которые представляют собой отрицательно заряженные поливалентные анионы. Катионы, влияя на конформацию этих молекул, изменяют их функцию.

Неорганические ионы в клетке выполняют различные биологические функции:

1. *Структурную*, обусловленную комплексобразующими свойствами металлов, которые являются компонентами макромолекул – белков, нуклеиновых кислот, гемма, хлорофилла и т.д.

2. *Биоэлектрическую*, связанную с возникновением разности потенциалов на клеточных мембранах, вследствие работы ионных насосов и создания ионной асимметрии, по разные стороны биомембран. Это свойство ионов используется для регуляции функций кле-

ток – вторичного активного транспорта веществ через мембрану, для регуляции функций особенно возбудимых клеток (нервных, мышечных) и для проведения нервных импульсов.

3. *Осмотическую*, используемую для регуляции осмотического и гидроосмотического давления.

4. *Энергетическую*, связанную с использованием неорганических фосфатных анионов в образовании АТФ и АДФ – основных носителей энергии в клетке, в активации субстратов путем их фосфорилирования.

5. *Регуляторную* – ионы металлов, являясь компонентами активных центров ферментов, регулируют их активность и скорость химических реакций, в составе гормонов ионы металлов и галогены (*J*) в составе тироксина необходимы для проявления их биологической активности.

6. *Транспортную* – в составе металлопротеидов участвуют в переносе электронов (железосерные белки,) и простых молекул – кислород (гемоглобин).

7. *Механическую*, или опорную. Катион кальция и анион фосфора входят в состав гидроксиапатита и фосфата кальция в костях, определяют их механическую прочность.