

УГЛЕВОДЫ

ТАМБОВЦЕВА Р.В.

Д.б.н., профессор

РГУФКСМиТ

Москва

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ УГЛЕВОДОВ

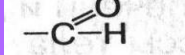
УГЛЕВОДЫ – это класс органических веществ, в состав которых входят атомы углерода (С), водорода (Н) и кислорода в соотношении 1 : 2 : 1.

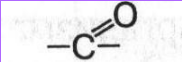
Общая формула углеводов – $C_n H_{2n} O_n$ или $(CH_2O)_n$, где n = 3-9 атомов углерода

Согласно Международной классификации, углеводы называются **ГЛИЦИДАМИ**

В состав отдельных углеводов могут входить другие химические элементы: N, S, P.

По химическому строению углеводы являются **АЛЬДЕГИДОСПИРТАМИ (альдозы) или КЕТОСПИРТАМИ (кетозы)**

АЛЬДОЗЫ содержат одну функциональную группу  при первом углеродном атоме и несколько гидроксильных групп (-ОН) при других атомах углерода.

КЕТОЗЫ содержат одну кетогруппу  при втором углеродном атоме и гидроксильные группы. Примером альдолаз является глюкоза, а кетоз – фруктоза.

Содержание углеводов в организме человека относительно небольшое до 2-3% общей массы тела.

Углеводы откладываются в печени в виде гликогена (от 5 до 10% общей массы), скелетных мышцах (1-3%), сердце (до 0,5%).

Запасы гликогена в организме взрослого человека с массой тела 70 кг составляют в среднем 500 г.

Свободная глюкоза содержится в крови (4,5-5г)

В углеводах запасаются около 2000 ккал энергии, за счет которой организм может физически работать в течение 30 минут – 1 часа.

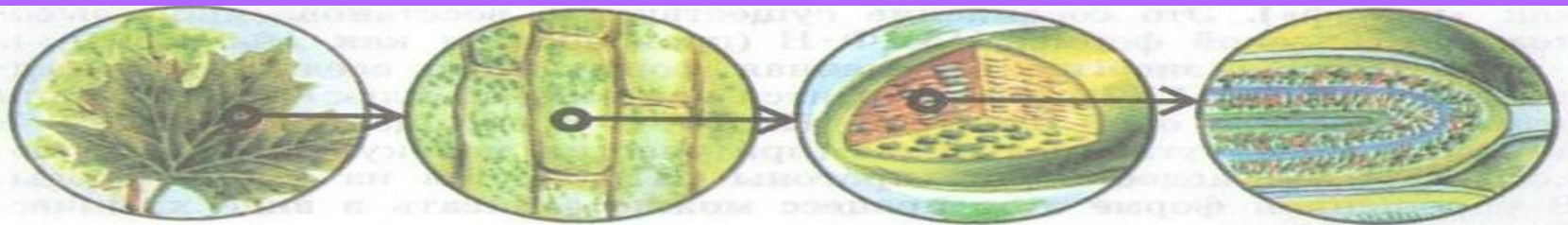
В организме человека углеводы синтезируются в незначительном количестве в процессе **ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА**. Основное их количество поступает в организм с продуктами питания.

Углеводы находятся преимущественно в продуктах растительного происхождения, так как их первичный синтез осуществляется в зеленых растениях в процессе фотосинтеза.



Суточная потребность человека в углеводах – 300-400 г, а спортсменов – 400-700 г.

СХЕМА ФОТОСИНТЕЗА



БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ УГЛЕВОДОВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ – при распаде углеводов высвобождаемая энергия рассеивается в виде тепла или накапливается в молекулах АТФ. Углеводы обеспечивают около 50-60% суточного энергопотребления организма, а при мышечной деятельности на выносливость – до 70%. При окислении 1 г углеводов выделяется 17 кДж энергии (4,1 ккал). В качестве основного энергетического источника в организме используется свободная глюкоза или запасенные углеводы в виде гликогена.

ПЛАСТИЧЕСКАЯ – углеводы (рибоза, дезоксирибоза) используются для построения АТФ, АДФ и других нуклеотидов, а также нуклеиновых кислот. Они входят в состав некоторых ферментов. Отдельные углеводы являются структурными компонентами клеточных мембран. Продукты превращения глюкозы (глюкуроновая кислота, глюкозамин) входят в состав полисахаридов и сложных белков хрящевой и других тканей.

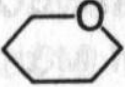
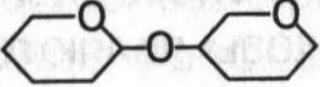
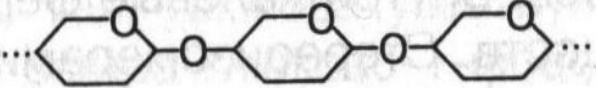
ЗАПАС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ – углеводы накапливаются в скелетных мышцах, печени и других тканях в виде гликогена. Запасы гликогена зависят от массы тела, функционального состояния организма, характера питания. Систематическая мышечная деятельность приводит к увеличению запасов гликогена, что повышает энергетические возможности организма.

СПЕЦИФИЧЕСКАЯ – отдельные углеводы участвуют в обеспечении специфичности групп крови, выполняют роль антикоагулянтов, являются рецепторами ряда гормонов или фармакологических веществ, оказывают противоопухолевое действие.

ЗАЩИТНАЯ – сложные углеводы входят в состав компонентов иммунной системы; мукополисахариды находятся в слизистых веществах, которые покрывают поверхность сосудов носа, бронхов, пищеварительного тракта, мочеполовых путей и защищают от проникновения бактерий и вирусов, а также от механических повреждений.

РЕГУЛЯТОРНАЯ – клетчатка пищи не расщепляется в кишечнике, но активизирует перистальтику кишечника, ферменты пищеварительного тракта, улучшают пищеварение, усвоение питательных веществ.

КЛАССЫ УГЛЕВОДОВ

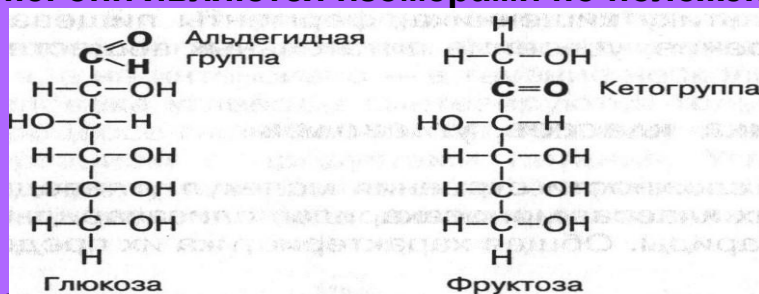
| УГЛЕВОДЫ | | |
|---|--|---|
| Моносахариды $C_nH_{2n}O_n, n = 3-9$ | Дисахариды $C_{12}H_{22}O_{11}$ | Полисахариды $(C_6H_{10}O_5)_n$ |
| Простые | Образованные двумя моносахаридами | Образованные многими моносахаридами |
|  |  |  |
| Сладкие на вкус; легко растворяются в воде | Сладкие на вкус; легко растворяются в воде | Несладкие; не растворяются в воде |
| Основные представители | | |
| Глюкоза и фруктоза (C ₆) | Сахароза | Крахмал и клетчатка в растениях |
| Рибоза и дезоксирибоза (C ₅) | Мальтоза | Гликоген в тканях человека и животных |
| Глицериновый альдегид и диоксиацетон (C ₃) | Лактоза | Гиалуроновая кислота Гепарин |

МОНОСАХАРИДЫ

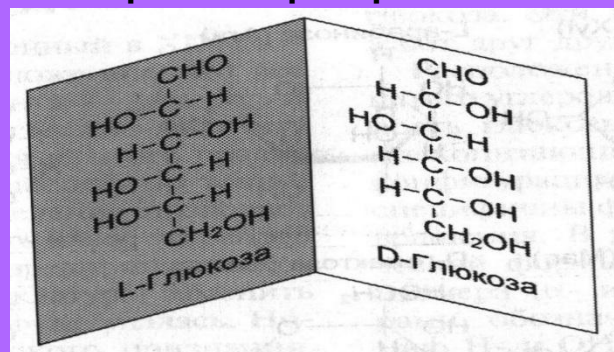
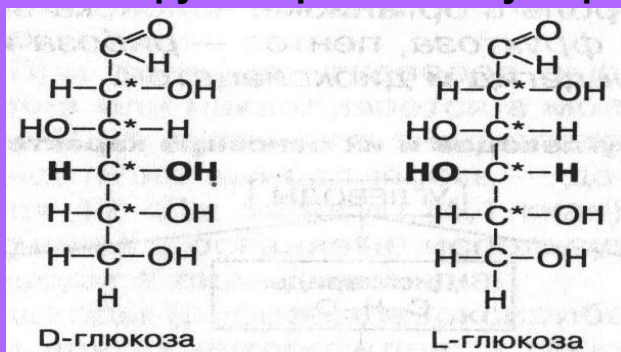
МОНОСАХАРИДЫ – это простые углеводы, которые при гидролизе не распадаются на более простые молекулы. В зависимости от числа атомов углерода в молекуле моносахариды делятся на **ТРИОЗЫ** ($C_3H_6O_3$), **ТЕТРОЗЫ** ($C_4H_8O_4$), **ПЕНТОЗЫ** ($C_5H_{10}O_5$), **ГЕКСОЗЫ** ($C_6H_{12}O_6$), **ГЕПТОЗЫ** ($C_7H_{14}O_7$). Другие моносахариды в природе не встречаются, но могут быть получены синтетически.

Наиболее важную роль в организме человека выполняют представители гексоз – глюкоза и фруктоза, пентоз – рибоза и дезоксирибоза, триоз – глицериновый альдегид и диоксиацетон.

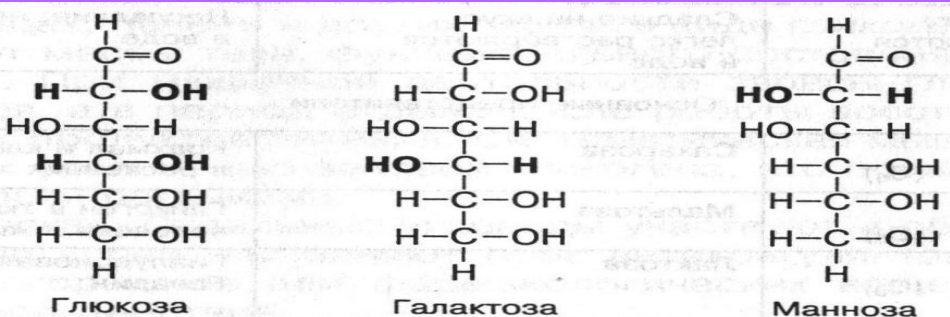
ГЛЮКОЗА и ФРУКТОЗА – это основные энергетические субстраты организма человека. Они имеют одинаковый молекулярный состав ($C_6H_{12}O_6$), но разную структуру молекулы, так как различаются наличием функциональных групп. Глюкоза содержит альдегидную группу, а фруктоза – кетогруппу, т.е. они являются изомерами по положению карбонильной группы ($C=O$)



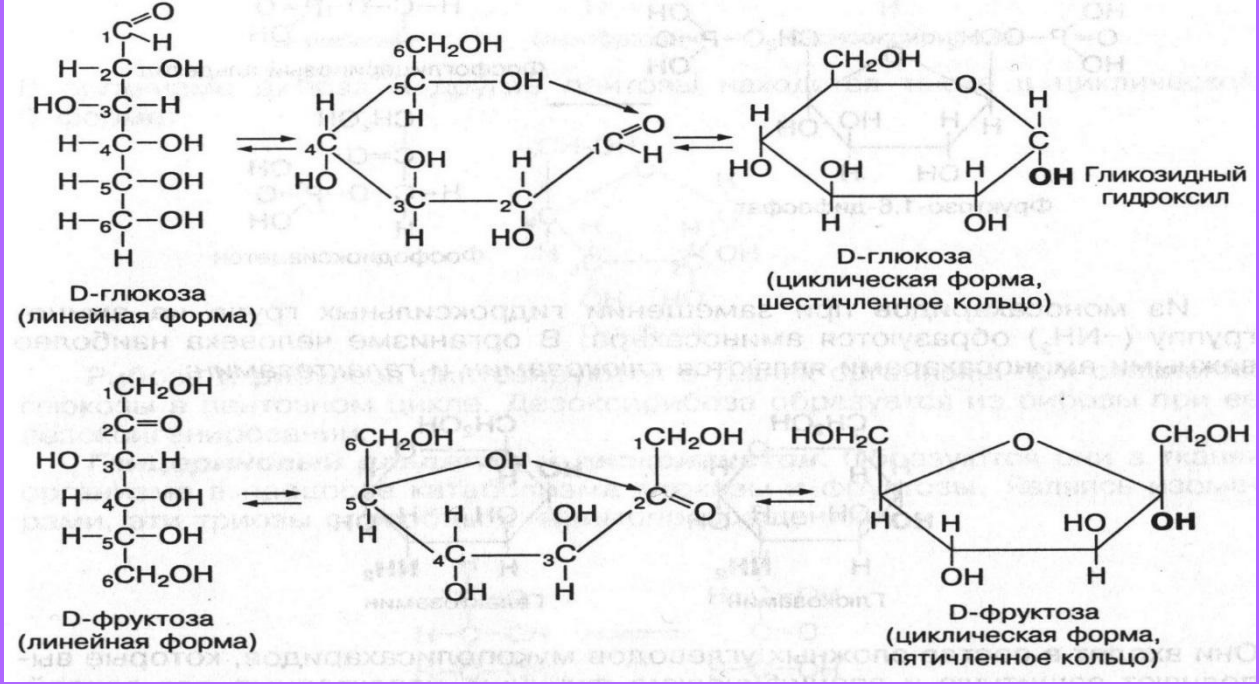
Для моносахаридов характерна также пространственная изомерия или стереоизомерия, т.к. они содержат асимметричные атомы углерода (отмечены *), которые связаны с 4 различными атомами. Выделяют D-форму и L-форму глюкозы и других моносахаридов. В них гидроксильная группа при 4 атоме углерода занимает разное пространственное положение.



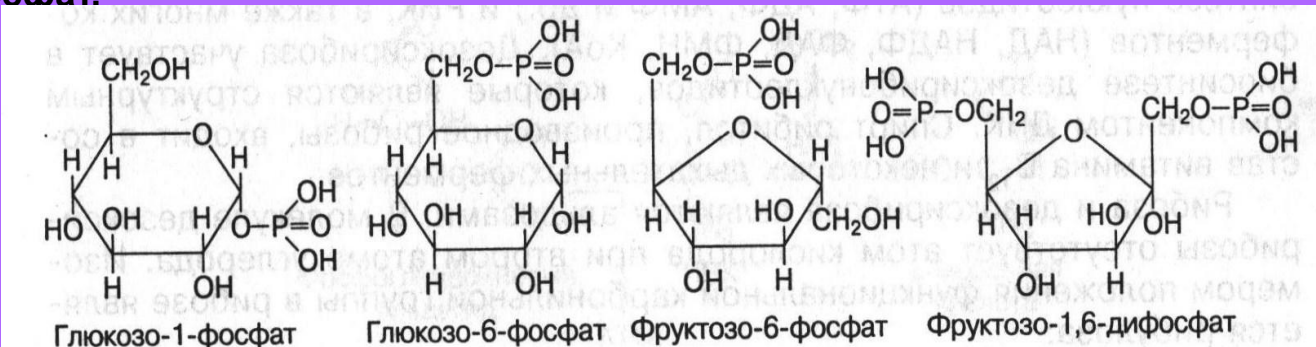
- Организм человека может усваивать только D-форму моносахаридов, в то время как аминокислоты используются организмом только в виде L-изомеров. Внутритканевые ферменты способны различать оптические изомеры веществ. Стереои́зомерами глюкозы являются **ГАЛАКТОЗА** и **МАННОЗА**:



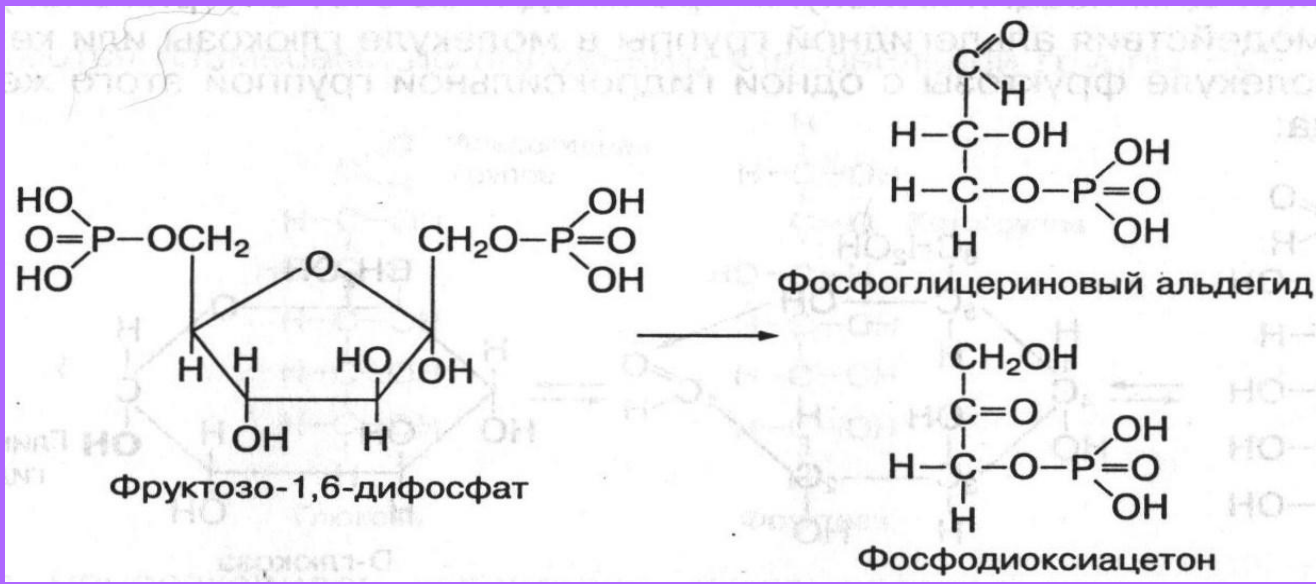
- ГАЛАКТОЗА** входит в состав **ЛАКТОЗЫ** – основного дисахарида молока. В печени под действием ферментов может превращаться в глюкозу.
- В водной среде **ГЛЮКОЗА** и **ФРУКТОЗА** находится в основном в циклической форме. Циклизация молекулы происходит за счет внутримолекулярного взаимодействия альдегидной группы в молекуле глюкозы или кетогруппой в молекуле фруктозы с одной гидроксильной группой этого же моносахарида:



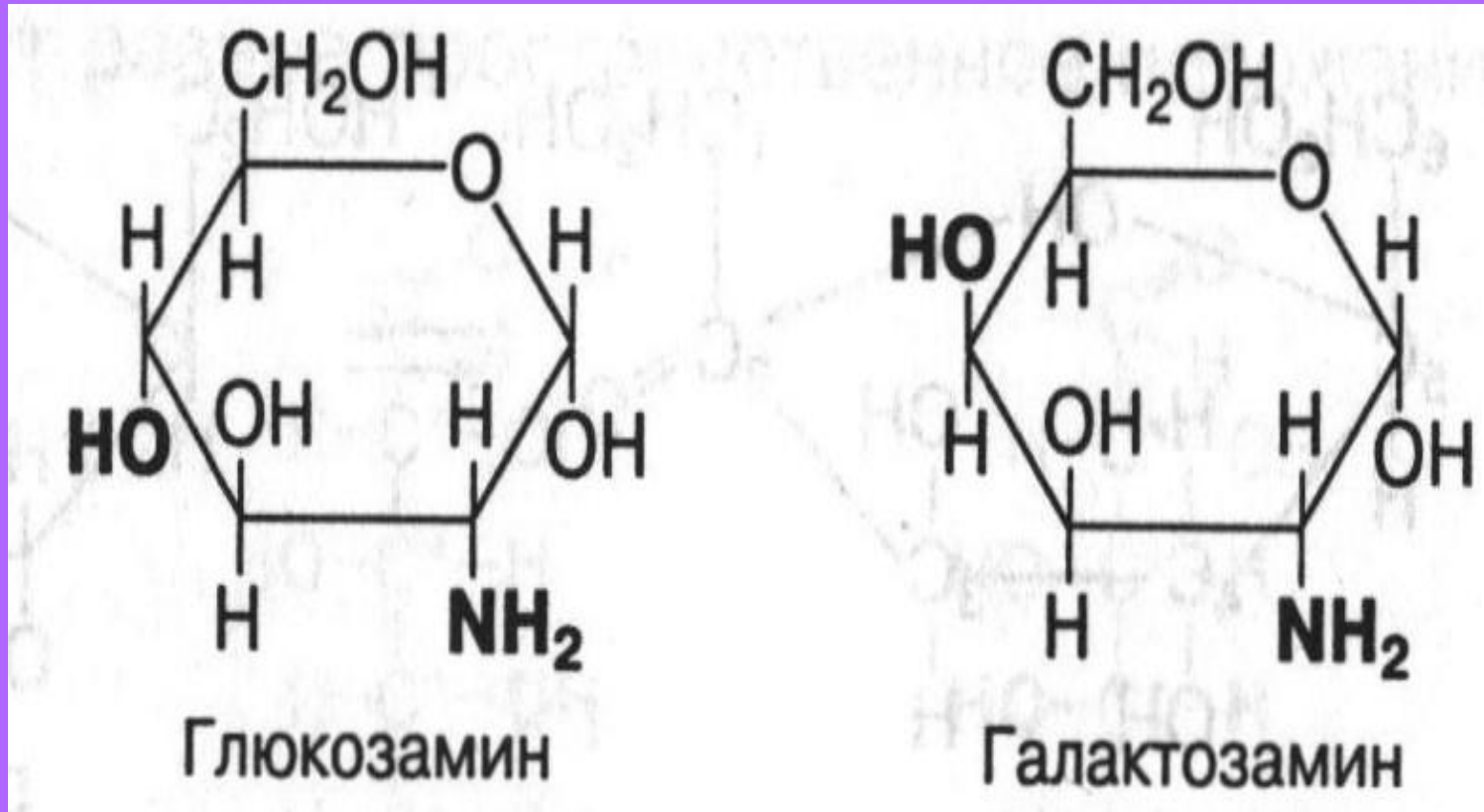
- Циклические формы моносахаридов приобретают биологически реактивную гидроксильную группу при C_1 – или C_2 – атоме углерода, которая называется **ГЛИКОЗИДНЫМ ГИДРОКСИЛОМ**. Она играет важную роль в химических превращениях этих моносахаридов, в частности участвует в образовании ди- и полисахаридов, фосфорных эфиров. Например: глюкоза участвует в обмене веществ и энергии в виде фосфорного эфира глюкозо-1-фосфат, запускающего процесс распада глюкозы и синтеза полисахаридов. Для моносахаридов характерно образование и других фосфорных эфиров: глюкозо-6-фосфат, фруктозо-6-фосфат, фруктозо-1,6-дифосфат.



- Фосфорилированные формы глюкозы и фруктозы в процессе их метаболизма способны взаимопревращаться, а также распадаться до триоз – фосфоглицеринового альдегида и фосфодиоксиацетона:

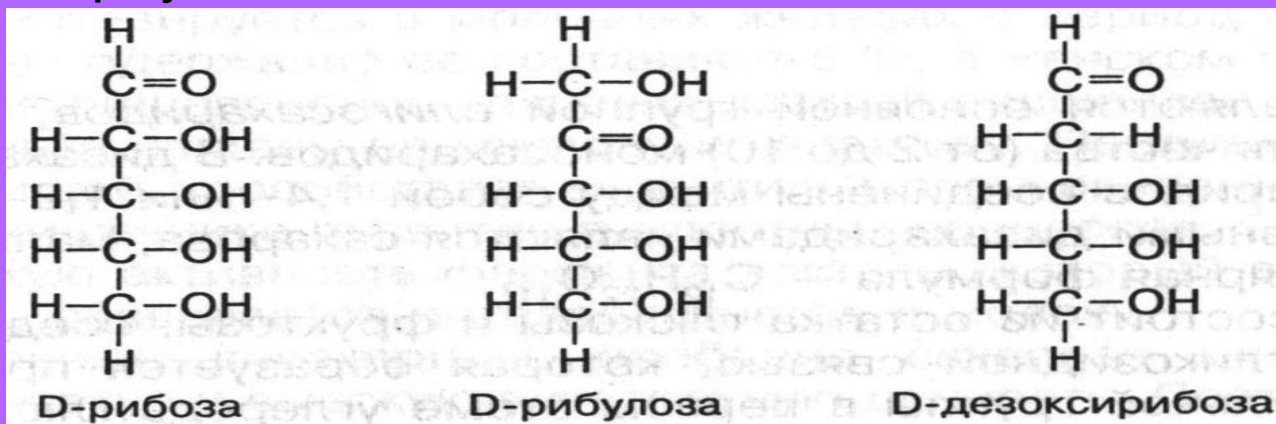


- Из моносахаридов при замещении гидроксильных групп на аминогруппу (- NH₂) образуются аminosахара. В организме человека наиболее важными аminosахарами являются ГЛЮКОЗАМИН и ГАЛАКТОЗАМИН:

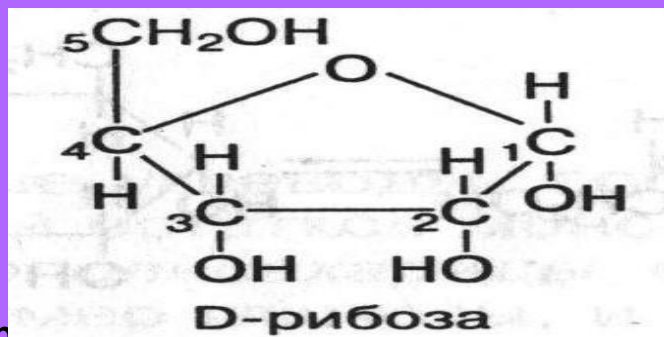


- ГЛЮКОЗАМИН и Галактозамин входят в состав сложных углеводов мукополисахаридов, которые выполняют защитную и специфические функции, характерные для слизи, стекловидного тела глаз, синовиальной жидкости суставов, системы свертывания крови и др.
- Из глюкозы в процессе ее восстановления или окисления образуются многие функционально важные вещества: аскорбиновая кислота (витамин С), спирт сорбит, глюконовая, глюкуроновая, сиаловые и другие кислоты.

- **РИБОЗА и ДЕЗОКСИРИБОЗА** – это углеводы, которые в свободном виде встречаются редко. Чаще они входят в состав сложных веществ, т.е. используются в организме в пластических процессах. **РИБОЗА** участвует в биосинтезе нуклеотидов (**АТФ, АДФ, АМФ** и др.) и **РНК**, а также многих коферментов (**НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, КоА**). **Дезоксирибоза** участвует в биосинтезе дезоксирибонуклеотидов, которые являются структурным компонентом **ДНК**. Спирт рибитол, производное рибозы, входит в состав витамина **В₁₂** и некоторых дыхательных ферментов.
- Рибоза и дезоксирибоза являются альдозами. В молекуле дезоксирибозы отсутствует атом **O₂** при втором атоме углерода. Изомером положения функциональной карбонильной группы в рибозе является рибулоза:

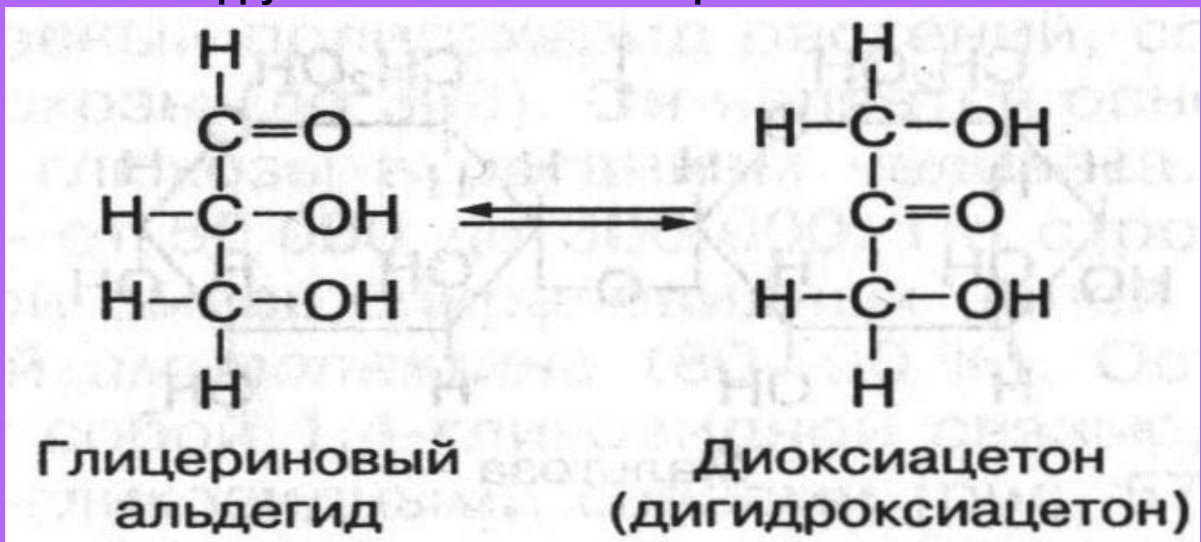


- В организме рибоза и другие пентозы находятся также в циклической **D-форме**:

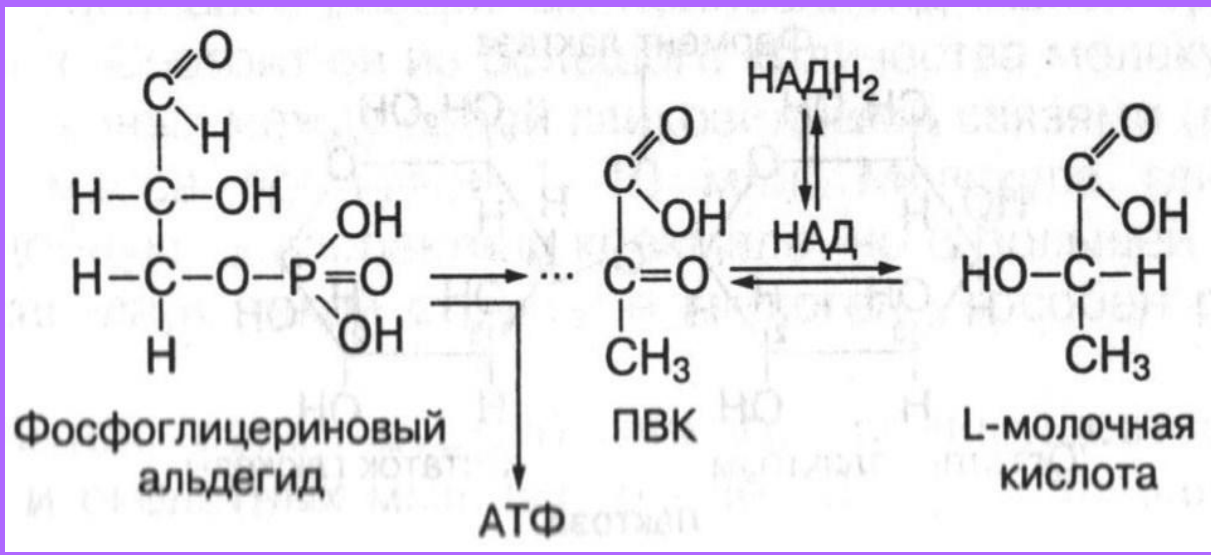


- Рибоза и рибулоза синтезируются в тканях организма при окислении глюкозы в пентозном цикле. Дезоксирибоза образуется из рибозы при ее дезоксигенировании.

- ГЛИЦЕРИНОВЫЙ АЛЬДЕГИД и ДИОКСИАЦЕТОН** – образуются в тканях организма в процессе катаболизма глюкозы и фруктозы. Являясь изомерами они способны к взаимопревращению:

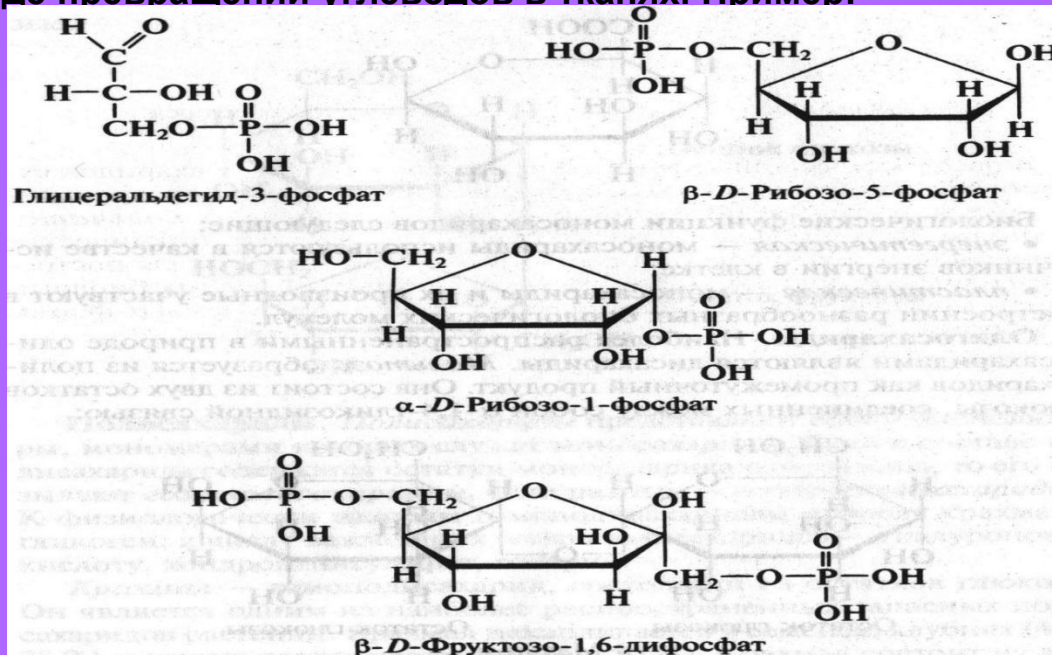


- В тканях организма в процессе метаболизма углеводов и жиров образуются фосфорные эфиры глицеринового альдегида и фосфодиоксиацетона. Фосфоглицериновый альдегид является высокоэнергетическим субстратом биологического окисления. В процессе его окисления образуется молекула АТФ и продукты окисления – пировиноградная кислота (ПВК) и молочная кислота:

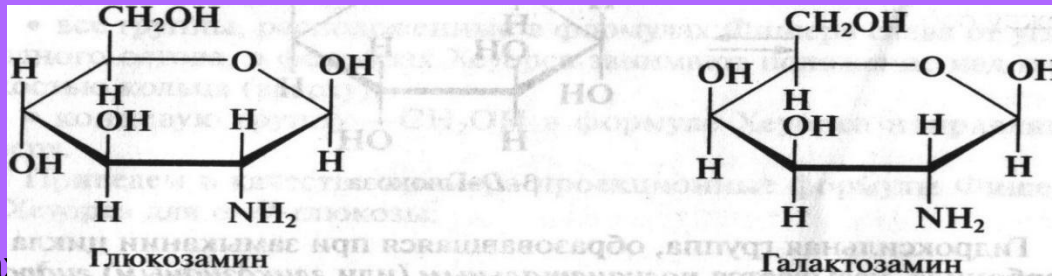


ПРОИЗВОДНЫЕ МОНОСАХАРИДОВ

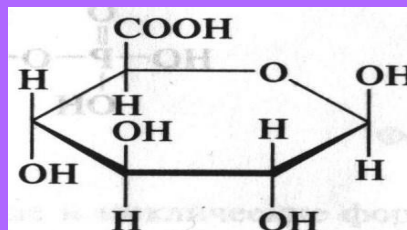
- Большую группу производных моносахаридов составляют фосфорные эфиры, которые образуются в ходе превращений углеводов в тканях. Пример:



- В природе широко распространены 2 аминопроизводных моносахаридов – глюкозамин и галактозамин:



- В состав полисахарида

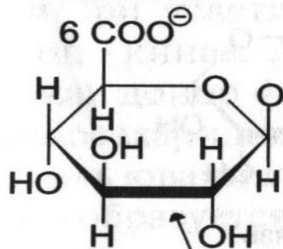


РЕАКЦИИ МОНОСАХАРИДОВ

- Присутствие гидроксильных, альдегидных и кетонных групп позволяет моносахаридам вступать в реакции, характерные для спиртов, альдегидов и кетонов.
- **МУТАРОТАЦИЯ** – взаимопревращение аномерных форм моносахаридов. *α* – и *β* – формы аномеров находятся в растворе в состоянии равновесия. При достижении этого равновесия происходит мутаротация – размыкание и замыкание пиранового кольца и изменение положения Н- и ОН-групп при 1 углероде моносахарида.
- **ОБРАЗОВАНИЕ ГЛИКОЗИДОВ** – при образовании гликозидной связи аномерная ОН-группа одного моносахарида взаимодействует с ОН-группой другого моносахарида или спирта. При этом происходит отщепление молекулы воды и образование О-гликозидной связи.
- **ЭТЕРИФИКАЦИЯ** – Это реакция образования эфирной связи между ОН-группами моносахаридов и различными кислотами.
- **ОКИСЛЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ** – при окислении концевых групп глюкозы –СНО и -СН₂ОН образуются три разных производных. При окислении группы – СНО образуется глюконовая кислота. При окислении – СН₂ОН образуется глюкуроновая кислота. Если окисляются обе концевые группы, то образуется сахарная кислота.

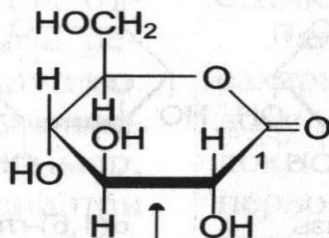
РЕАКЦИИ МОНОСАХАРИДОВ

Глюкуроновая кислота



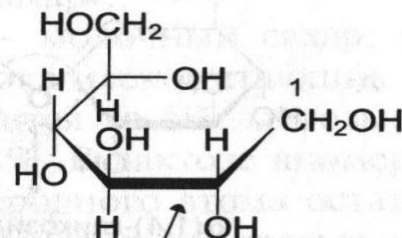
Окисление

Глюконовая кислота



Окисление

Сорбитол



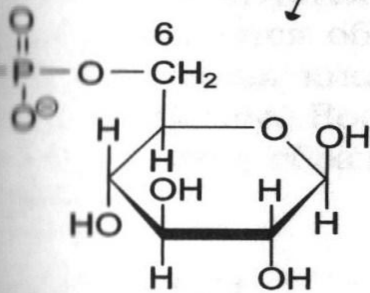
Восстановление



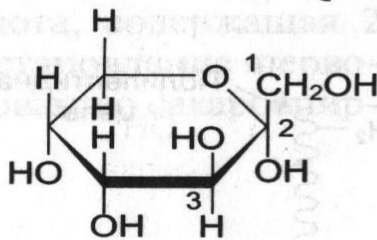
Этерификация

Эпимеризация

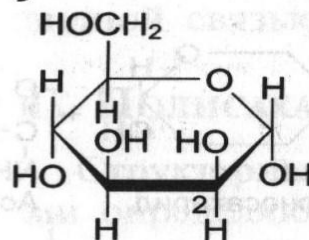
Образование гликозида



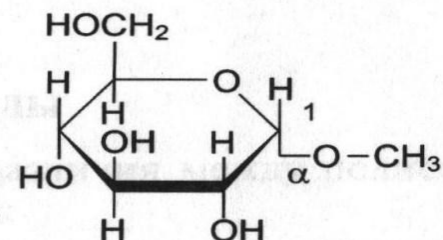
Глюкозо-6-фосфат



D-Фруктоза



α-D-Манноза



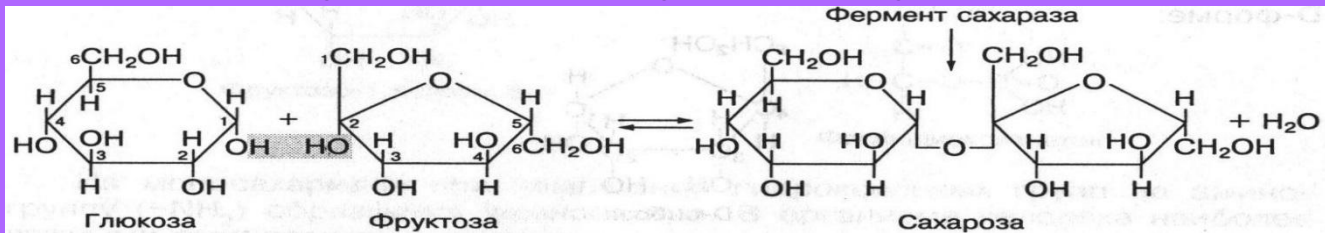
α-Метилглюкозил

ОЛИГОСАХАРИДЫ

- Наиболее распространенными в природе олигосахаридами являются ДИСАХАРИДЫ
- ДИСАХАРИДЫ – это группа, состоящая из небольшого (от 2 до 10) моносахаридов. В дисахаридах 2 остатка моносахаридов соединены между собой 1,4- или 1,2-гликозидными связями.
- Основные дисахариды – САХАРОЗА, МАЛЬТОЗА, ЛАКТОЗА.
- Молекулярная формула – $C_{12}H_{22}O_{11}$.

САХАРОЗА

Сахароза состоит из остатка глюкозы и фруктозы, соединенных между собой 1,2-гликозидной связью, которая образуется при взаимодействии гидроксильной группы в 1 атоме углерода глюкозы и гидроксильной группы при 2 атоме углерода фруктозы:



Сахароза является основным компонентом пищевого сахара. В процессе пищеварения под воздействием фермента сахаразы она распадается на глюкозу и фруктозу

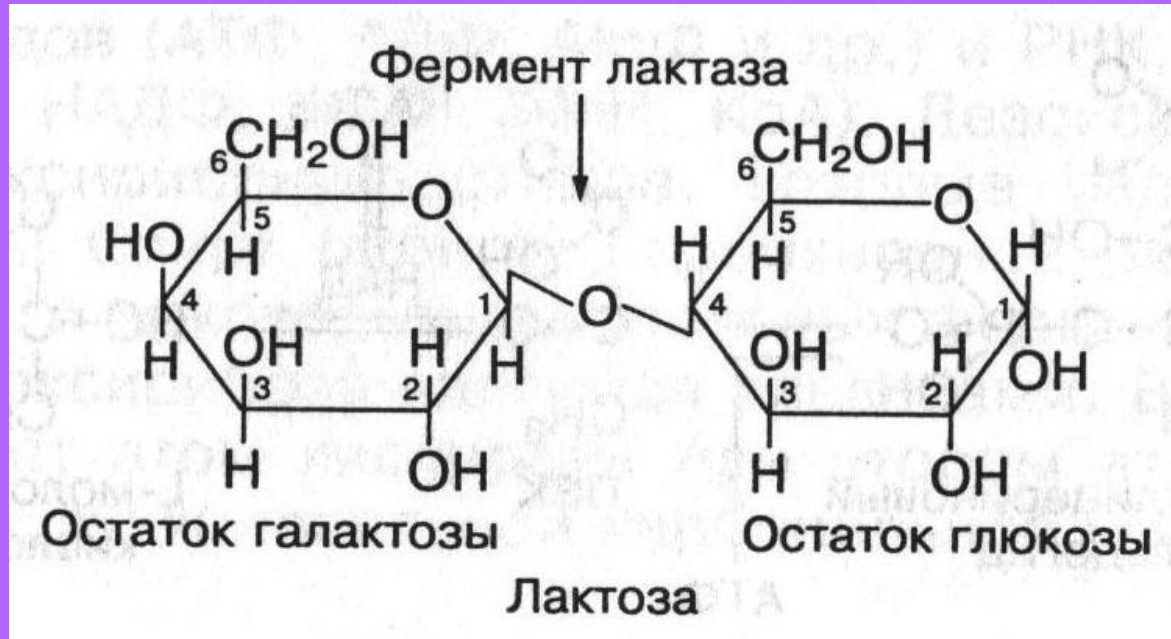
МАЛЬТОЗА

Мальтоза состоит из двух остатков глюкозы, соединенных между собой 1,4-гликозидной связью:



Мальтоза образуется в ЖКТ в процессе гидролиза крахмала или гликогена пищи. При пищеварении она расщепляется на молекулы глюкозы под воздействием фермента мальтазы. Много мальтозы содержится в солодовых экстрактах злаковых, проросших зернах.

- **ЛАКТОЗА** (молочный сахар) состоит из остатков глюкозы и галактозы, которые соединены между собой 1,4-гликозидной связью:



- Лактоза синтезируется в молочных железах в период лактации. В коровьем молоке содержание ее составляет 5%, в женском молоке – 6%. В системе пищеварения человека лактоза расщепляется под воздействием фермента лактазы на глюкозу и галактозу. Поступление лактозы в организм с пищей способствует развитию молочнокислых бактерий, подавляющих в кишечнике развитие гнилостных процессов. Однако у людей, имеющих низкую активность фермента лактазы, развивается интолерантность к молоку.
- Сахароза (пищевой сахар), имеет сладкий вкус и высокую питательную ценность. Поэтому они не рекомендуются для питания людей, страдающих ожирением и диабетом. Их заменяют искусственными веществами, например сахарином, которые имеют сладкий вкус, но не усваиваются организмом.

ПОЛИСАХАРИДЫ

ПОЛИСАХАРИДЫ – это сложные углеводы, состоящие из многих сотен или тысяч связанных между собой остатков моносахаридов, в основном остатков глюкозы.

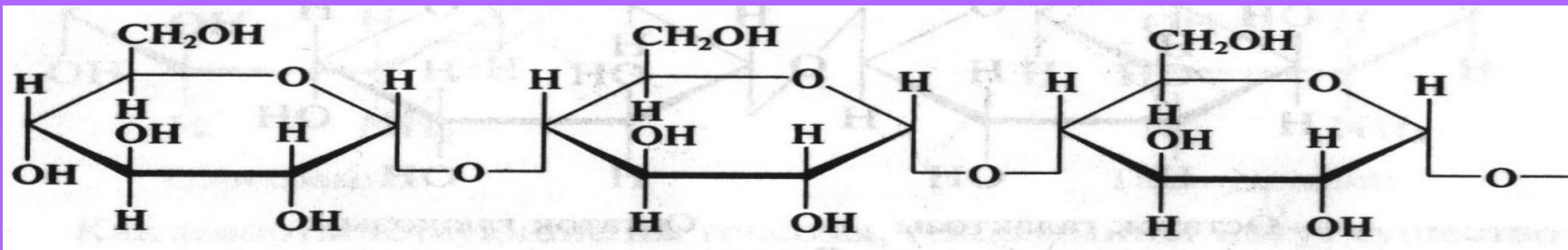
Основные гомополисахариды, выполняющие важную биологическую роль и состоящие из молекул глюкозы являются: крахмал и клетчатка растений, гликоген человека и животных.

Эти полисахариды не обладают сладким вкусом, плохо растворяются в воде, образуя коллоиды. Они имеют общую молекулярную формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$, однако различаются количественным составом и строением молекул.

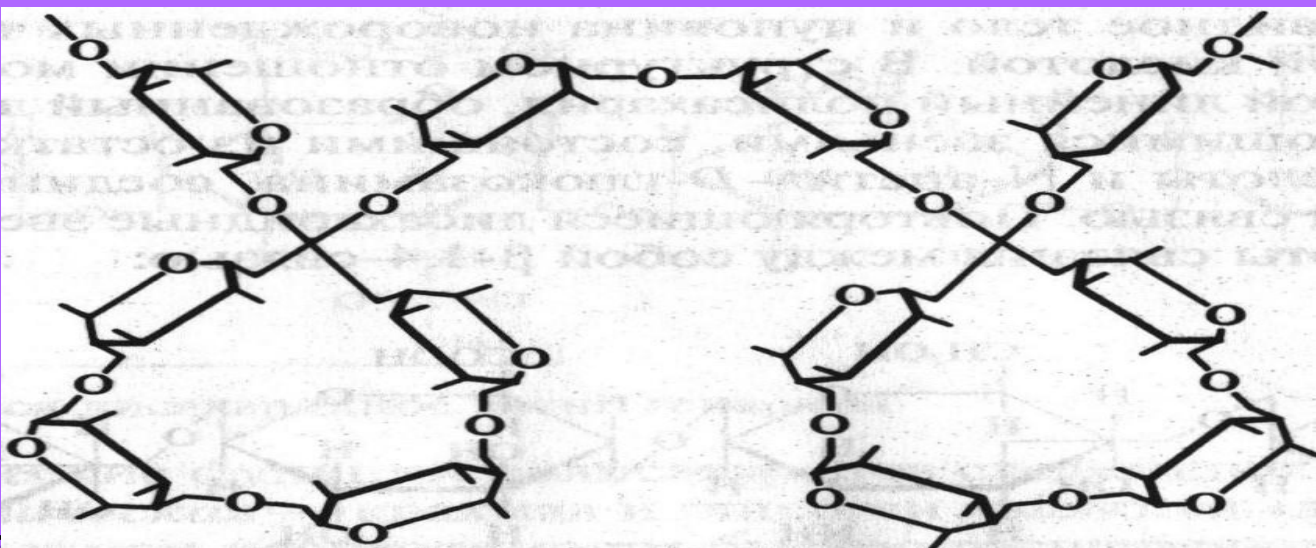
НЕЙТРАЛЬНЫЕ

КРАХМАЛ – резервный полисахарид растений, состоящий из большого числа остатков D-глюкозы (до 300). Является основным полисахаридом пищи, поставщиком глюкозы в организм человека. Молекулярная масса крахмала – 50000 до 300000. По строению не однороден и представляет смесь спиралевидных цепей **амилозы** (10-20%) и разветвленных цепей **амилопектина** (80-90%). Остатки глюкозы в амилозе связаны между собой 1,4-гликозидной связью, а в точках ветвления амилопектина – 1,6-гликозидными связями. Коллоидные частицы (мицеллы) амилозы дают с иодом синее окрашивание. АМИЛОЗА хорошо растворяется в воде, тогда как амилопектин не растворяется и образует коллоидный раствор – клейстер. При частичном разрушении структуры крахмала образуются соединения с меньшей молекулярной массой (декстрины), которые также хорошо растворяются в воде. Основные ферменты, расщепляющие крахмал пищи – амилазы слюны и сока поджелудочной железы. АМИЛОПЕКТИН – разветвленный полисахарид с m_n 1 млн. Через 12 моносахаридных звеньев у него имеются точки ветвления, образованные α -(1 \rightarrow 6) – гликозидными связями. Пектин – природный сорбент

- АМИЛОЗА



- Спиралевидная конформация молекулы амилозы



- АМИЛОПЕКТИН

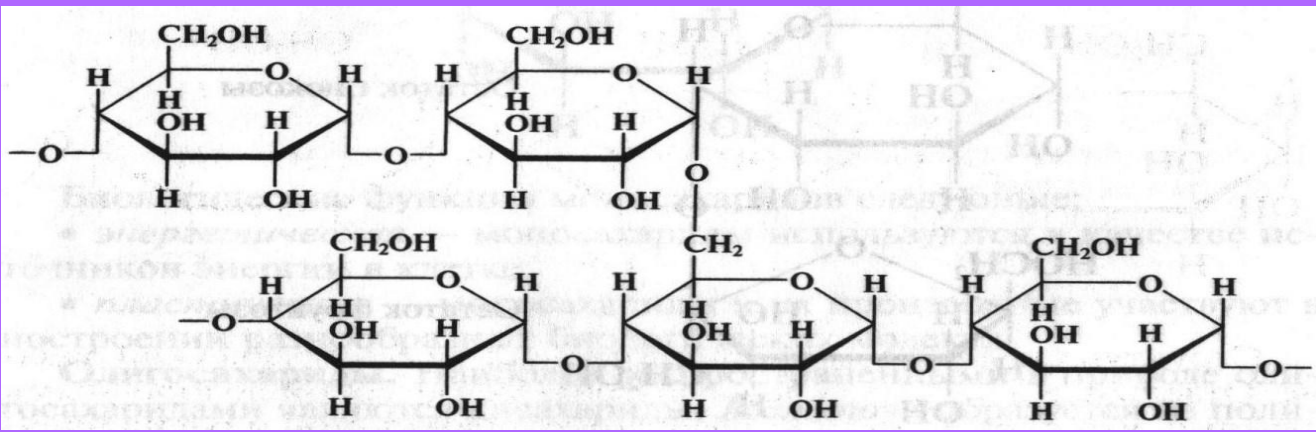
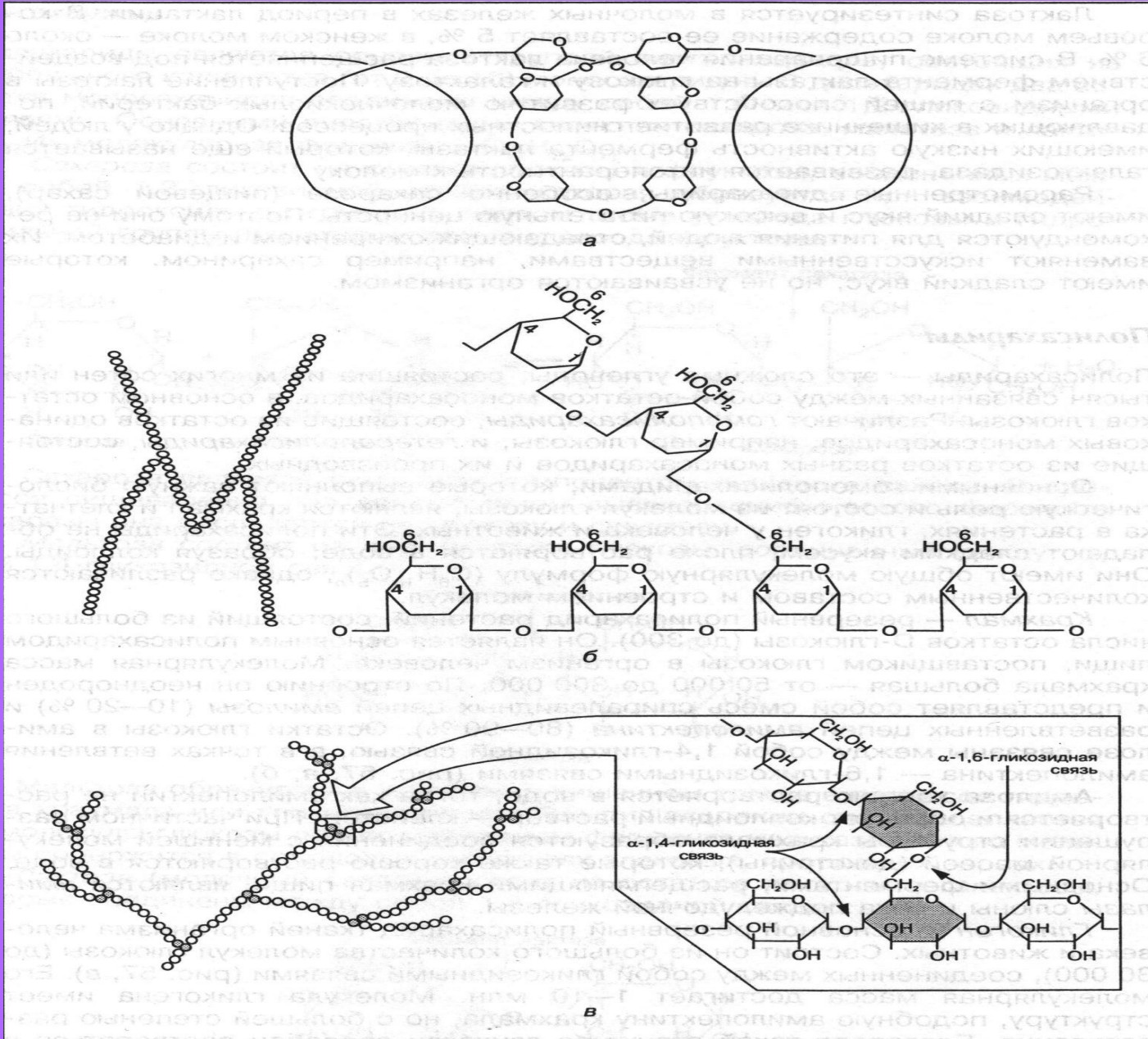


Схема строения цепей крахмала –амилозы (а), амилопектина (б) и участка молекулы гликогена (в)



ГЛИКОГЕН

ГЛИКОГЕН – главный резервный полисахарид всех тканей человека и животных.

Встречается гликоген в небольших количествах у бактерий и растений. Имеет большую молекулярную массу – $1-20 \times 10^7$, отличается большой разветвленностью цепей по сравнению с амилопектином. Гликоген состоит из большого количества молекул глюкозы (до 30000), соединенных между собой гликозидными связями. Благодаря такой структуре гликоген способен растворяться в воде. Накапливается (депонируется) гликоген в печени (около 100 г) и скелетных мышцах (около 400 г), создавая запас глюкозы в организме.

Концентрация гликогена в тканях зависит от:

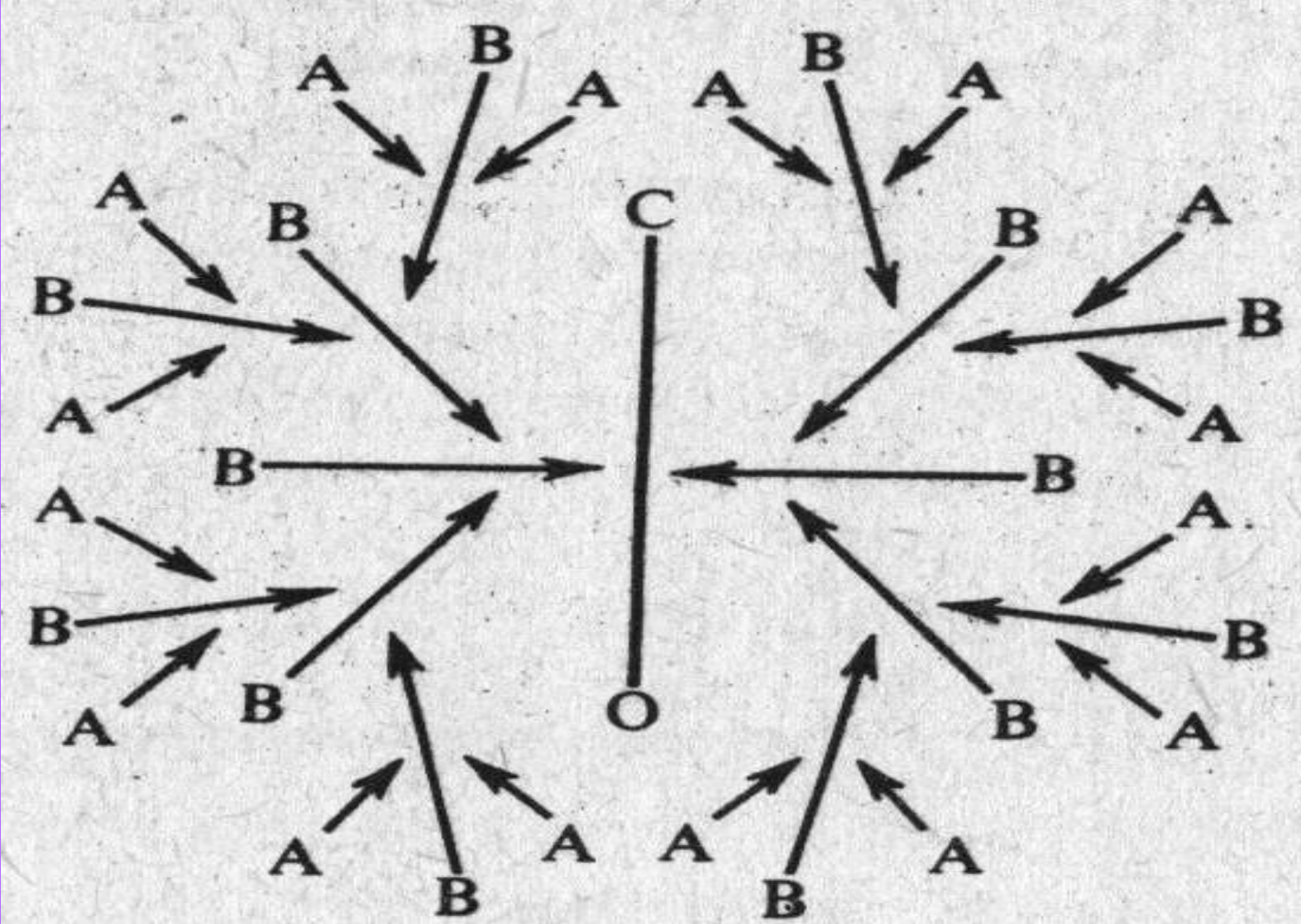
- 1. Состава пищи**
- 2. Характера мышечной деятельности**
- 3. Факторов окружающей среды (жара, гипоксии).**

При недостаточном поступлении углеводов с пищей или интенсивной мышечной деятельности запасы гликогена снижаются

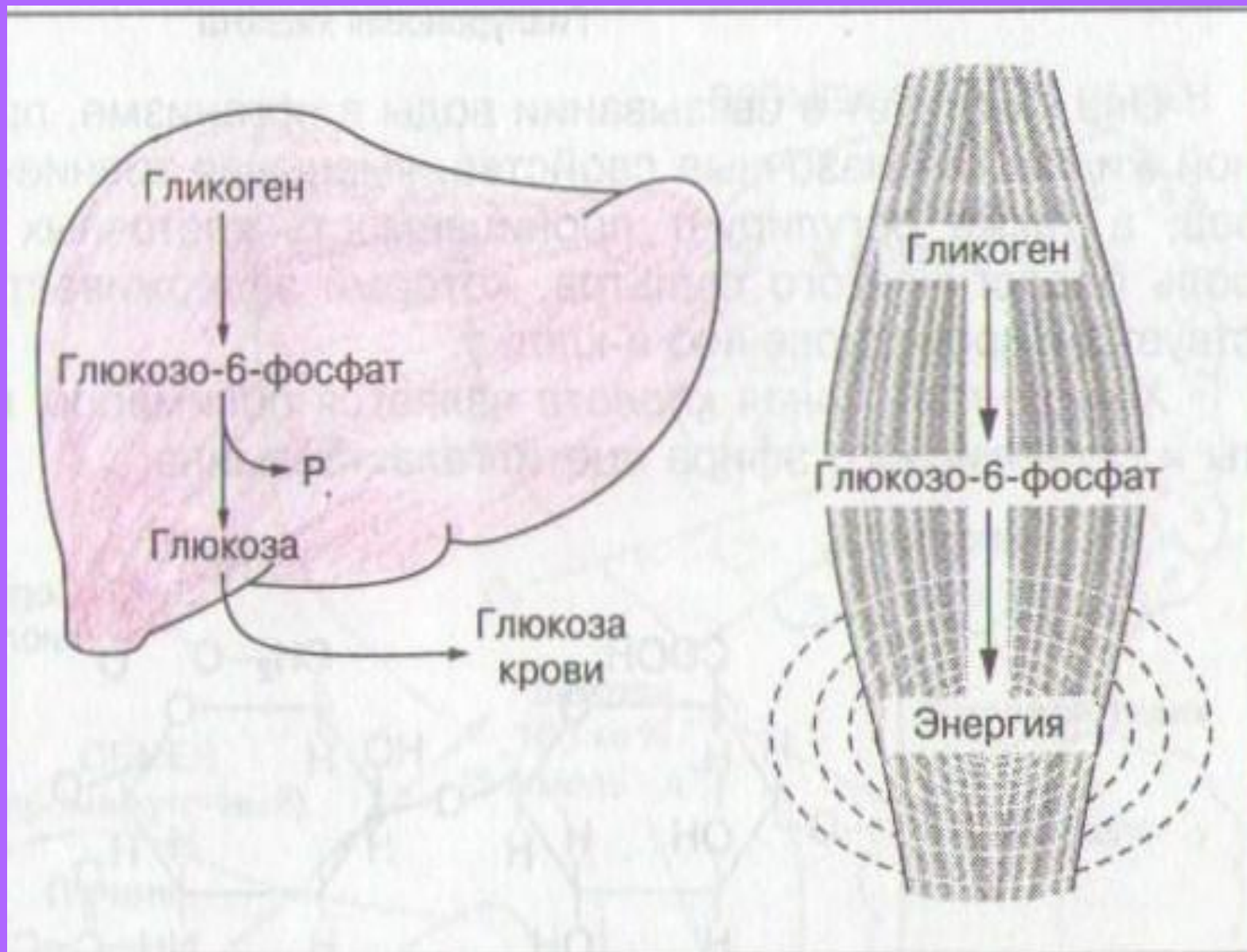
При избыточном поступлении глюкозы с пищей запасы гликогена восстанавливаются.

Гликоген печени используется для поддержания уровня глюкозы в крови в периоды между приемом пищи или интенсивности ее окисления, а гликоген скелетных мышц – для энергообеспечения самих мышц.

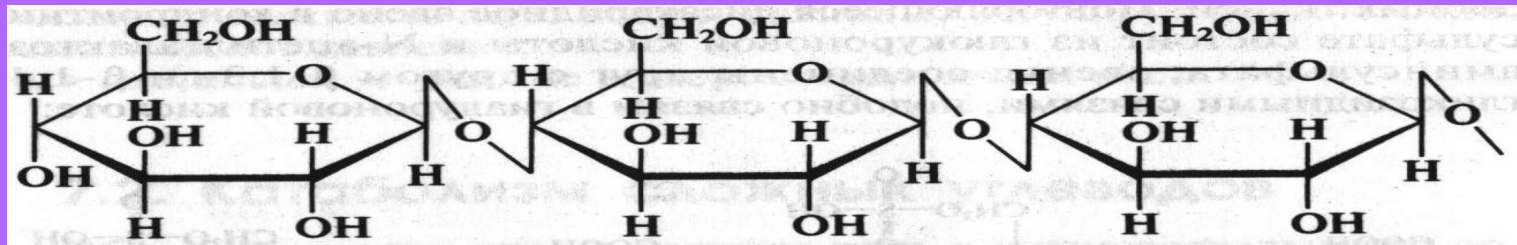
В молекуле гликогена выделяют внутренние и наружные ветви, а также цепи А, В и С. Цепь А – наружная, не несет других ветвей, она присоединяется к цепям В, образующим внутренние ветви. Цепь С – стержневая, содержащая единственный восстанавливающий остаток глюкозы.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИКОГЕНА ПЕЧЕНИ И СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ



ЦЕЛЛЮЛОЗА – структурный гомополисахарид растений, придающий им прочность и эластичность $mm\ 5 \times 10^4 - 5 \times 10^5$. Он имеет линейное строение, но отличается от альфа-амилозы типом гликозидной связи. Это неразветвленный полимер, состоящий из большого числа остатков глюкозы. Целлюлоза образует вторичную стенку растительных клеток в виде микрофибрилл, которые цементируются другими полисахаридами или лигнином (аморфный ароматический полимер). Это позволяет растительной стенке выдерживать внутреннее давление 2×10^3 кПа (20 атм). В организме человека целлюлоза не расщепляется, но она необходима для регуляции перистальтики и активности ферментов тонкого кишечника. Расщепляет целлюлозу специальный фермент – целлюлаза, который отсутствует в ЖКТ человека.



КИСЛЫЕ ГЕТЕРОПОЛИСАХАРИДЫ или МУКОПОЛИСАХАРИДЫ

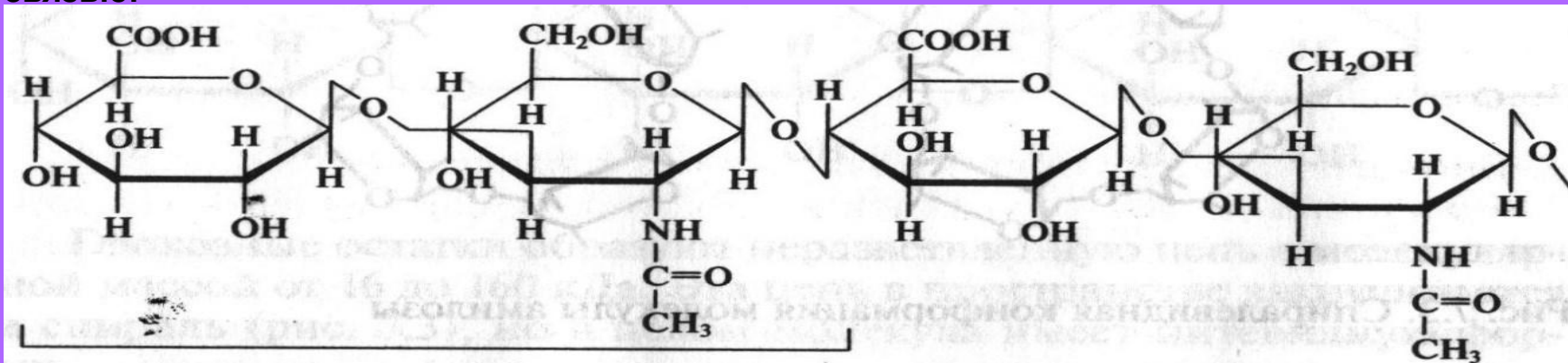
От лат. *mucos* – слизь. Мукополисахариды – это большая группа полисахаридов разного химического строения и состава, которые содержатся в коже, сухожилиях хрящах, оболочках клеток, межклеточной и синовиальной жидкости – сильно гидратированные, желеподобные, липкие вещества, имеющие значительный отрицательный заряд. Все они находятся в межклеточном веществе, но не в свободном виде, а связаны с белками.

1. Гиалуроновая кислота
2. Хондроитинсульфаты
3. Дерматансульфат
4. Кератансульфат
5. Гепарин и гепарансульфат

ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА

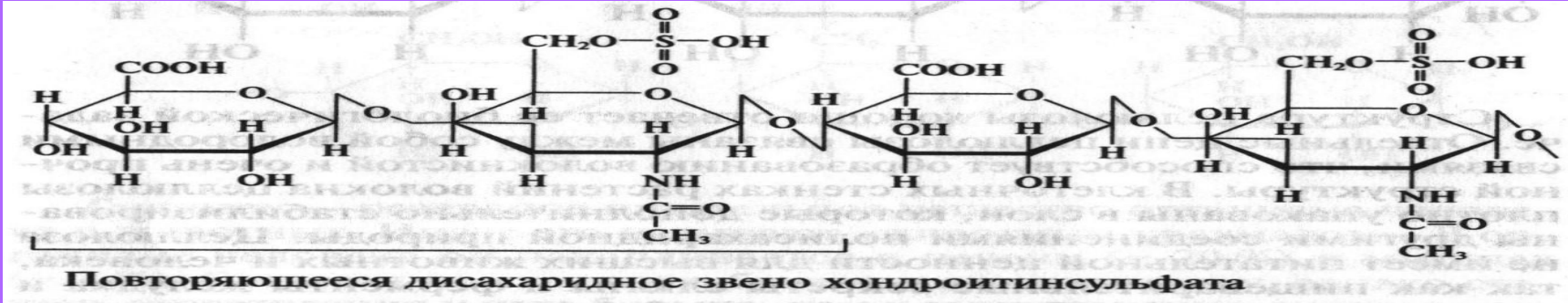
Гиалуроновая кислота – несulfатированный гетерополисахарид с линейной структурой и самой большой молекулярной массой из всех гетерополисахаридов. Она служит биологическим цементом, заполняя пространства между клетками. Сетка гиалуроновой кислоты в виде геля является биологическим фильтром, задерживая микробные и иные крупные молекулы, попадающие в организм. Она участвует в связывании воды в организме, придает внутрисуставной жидкости смазочные свойства, уменьшает трение при сгибании суставов. Разрыв гликозидных связей в цепях гиалуроновой кислоты вызывает ее деполимеризацию. В результате фильтрующая система нарушается, между клетками проникают различные молекулы, скапливается межклеточная вода (наступает отек). В клетках организма имеется специальный фермент – гиалуронидаза, который, выделяясь в межклеточное пространство, может повышать межклеточную проницаемость. Поэтому гиалуронидазу называют фактором проницаемости. При оплодотворении яйцеклетки выделяемая сперматозоидом гиалуронидаза способствует проникновению его внутрь клетки. Стекловидное тело и пуповина новорожденных также богаты гиалуроновой кислотой.

В структурном отношении молекула представляет собой линейный полисахарид, образованный дисахаридными повторяющимися звеньями, состоящими из остатков D-гиалуроновой кислоты и N-ацетил-D-глюкозамина, соединенных бета-1,3-гликозидной связью. Повторяющиеся дисахаридные звенья гиалуроновой кислоты связаны между собой бета-1,4-связью:

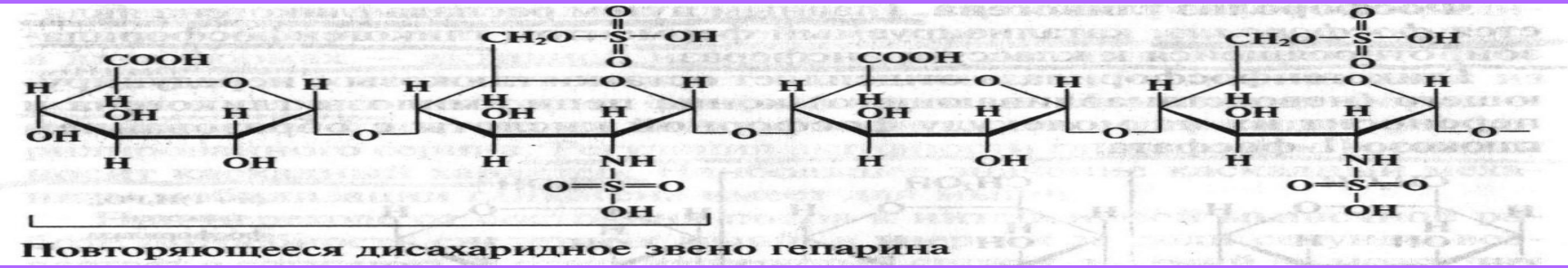


Повторяющееся дисахаридное звено гиалуроновой кислоты

- ХОНДРОИТИНСУЛЬФАТЫ** - Наиболее распространенные кислые гетерополисахариды в тканях человека и животных. Мм 6×10^4 . В комплексе с белком коллагеном входят в состав хрящей, костей, сердечных клапанов, стенок кровеносных сосудов, кожи, сухожилий, роговицы глаз. Повторяющееся дисахаридное звено в хондроитинсульфате из глюкуроновой кислоты и N-ацетилгалактозаминосульфата; звенья соединены друг с другом бета-1,3- и бета-1,4 – гликозидными связями, подобно связям в гиалуроновой кислоте:



- ГЕПАРИН** - в отличие от других гетерополисахаридов не являются структурными компонентами межклеточного вещества. Они вырабатываются тучными клетками соединительной ткани и выделяются при их распаде (цитоллизе) в межклеточную среду и кровяное русло. В крови гепарин нековалентно связан со специфическими белками. Комплекс гепарина с гликопротеидом плазмы проявляет противосвертывающую активность, а комплекс с ферментом липопротеидлипазой расщепляет липиды, находящихся в крови в виде хиломикронов. Гепарин содержится в крови, печени, легких, селезенке, щитовидной железе и в других тканях и органах. Молекула гепарина состоит из глюкуроновой кислоты и альфа-глюкозамина в виде двойного сульфопроизводного, соединенных между собой а-1,4-гликозидными связями.



БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЛИСАХАРИДОВ

- **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ** – крахмал и гликоген являются «депо» углеводов в клетке и при необходимости быстро расщепляются на легкоусваиваемый источник энергии – глюкозу.
- **ОПОРНАЯ** – хондроитинсульфат выполняет опорную функцию в костной ткани.
- **СТРУКТУРНАЯ** – гиалуроновая кислота, хондроитинсульфат и гепарин являются структурными межклеточными веществами.
- **ГИДРООСМОТИЧЕСКАЯ и ИОНРЕГУЛИРУЮЩАЯ** – гиалуроновая кислота благодаря высокой гидрофильности и отрицательному заряду связывает межклеточную воду и катионы, регулируя осмотическое давление.
- **ЗАЩИТНАЯ** – участие в свертывании крови.

***БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ***