

Лекция № 1

Тема: Углеводы

План

1. Определение, биологическая роль
2. Классификация :
 - Моносахариды (МС)
 - Олигосахариды (ОС)
 - Полисахариды (ПС)
 - а) гомополисахариды;
 - б) гетерополисахариды;
3. Переваривание пищевых углеводов в ЖКТ, всасывание продуктов гидролиза
4. Роль клетчатки в пищеварении
5. Промежуточный обмен:
 - а) синтез и распад гликогена;
 - б) взаимопревращение углеводов;

1. Определение, биологическая роль

Термин „углеводы” был введен профессором Тартусского университета К. Шмидтом. в 1844 г.

Углеводы – это органические вещества с общей формулой $C_n(H_2O)_m$. Химическое определение: углеводы – это многоатомные альдегидо- или кетоспирты (то есть полиоксикарбональные соединения) и их производные.

Биологическая роль:

- основной энергетический материал для жизнедеятельности человека; составляют 55-65% пищи;
- структурная функция – входят в состав гликопротеинов, нуклеиновых кислот, являются компонентами биомембран клетки;
- запасная, резервная функция: гликоген – запасной углевод организма; при необходимости способен превращаться в жиры и откладываться;
- иммунологические свойства - входят в состав антител (γ -глобулинов крови);
- некоторые проявляют биологическую активность: гепарин (антикоагулянт крови), сердечные гликозиды (лечебные препараты), мукополисахариды (связывают воду и ионы).

2. Классификация, представители и их характеристика:

Простые углеводы – 1.Моносахариды;

Сложные углеводы – 2.Олигосахариды (дисахариды)

3.Полисахариды:

а) гомополисахариды;

б) гетерополисахариды;

Моносахариды (МС) – это простые углеводы, которые в растворе не гидролизуют, или это многоатомные альдегидо- или кетоспирты.

Номенклатура и классификация.

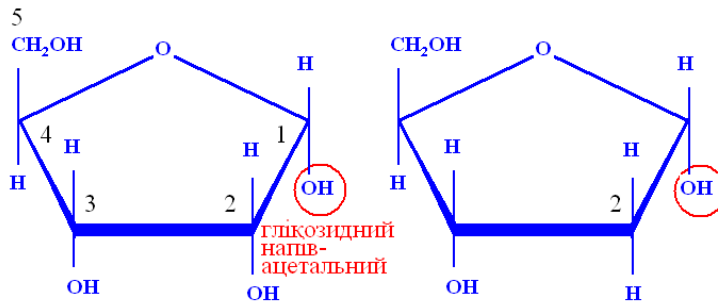
Для МС характерно окончание **-оза**. Их классифицируют:

1. По количеству атомов С на:

а) триозы (С3)

б) тетрозы (С4)

в) пентозы (С5) (рибоза, дезоксирибоза, ксилоза, арабиноза)

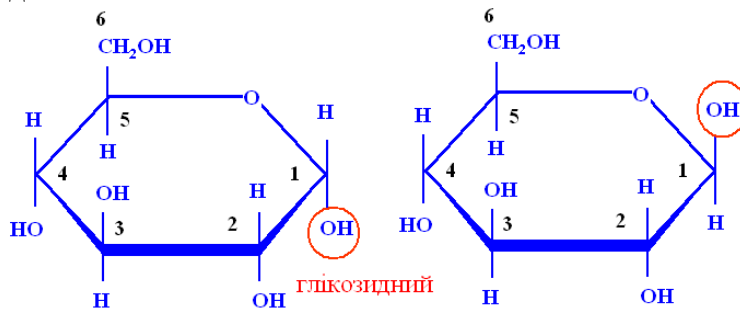


α -D-рибоза

2-дезоксид-D-рибоза

г) гексозы (С6) (глюкоза, фруктоза, галактоза, манноза) и т д.

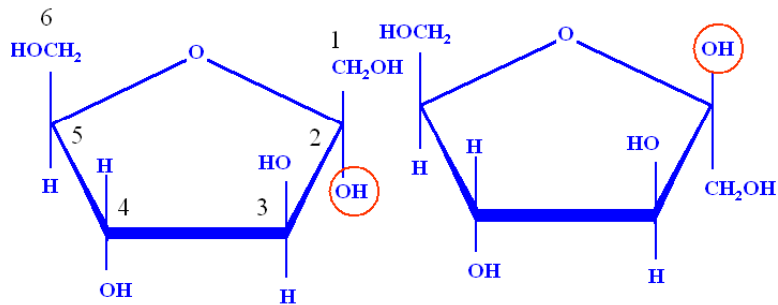
Гексозы- альдозы



α -D-глюкопіраноза

β -D-глюкопіраноза

Гексозы- кетозы



α -D-фруктофураноза

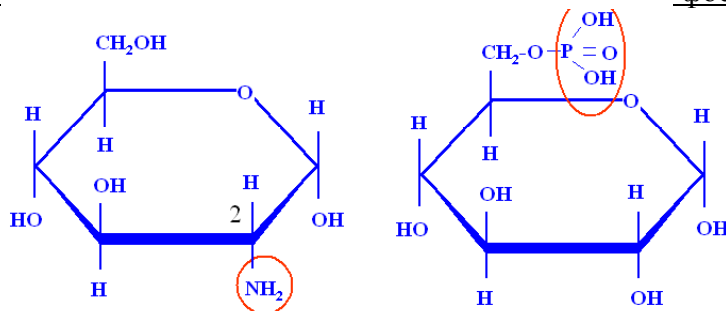
β -D-фруктофураноза

Наиболее распространенными классами являются в) и г).

Производные моносахаридов:

аминосахара

фосфосахара



D-глюкозамін (хітозамін)

D-глюкозо-6-фосфат

2. По главной функциональной группе:

- а) альдозы (глюкоза, галактоза, манноза)
- б) кетозы (фруктоза, рибулоза, ксилулоза)

Изомерия

Для МС характерна *оптическая изомерия*. Это способность углеводов вращать плоскость поляризованного света. Она обусловлена присутствием асимметрического атома С, или хирального центра. Асимметрический атом С имеет 4 разных заместителя и находится в sp^3 гибридизации.

Ациклическая форма глюкозы имеет 4 асимметрических атома С (2,3,4,5) и по правилу Вант-Гоффа – $2^n = 2^4 = 16$ оптических изомеров.

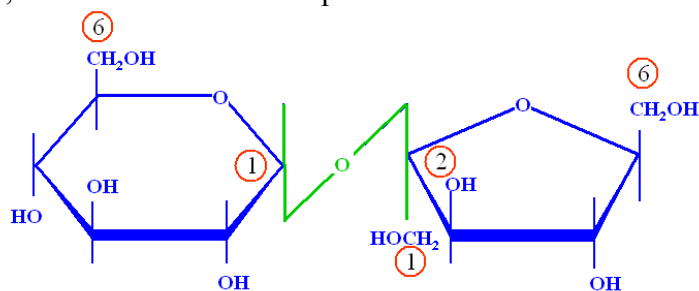
Конфигурацию МС определяют по расположению ОН-группы возле последнего хирального центра. Все углеводы, которые входят в состав организма человека, относятся к **D** – *стереохимическому ряду*.

Олигосахариды (дисахариды) – это сложные углеводы, которые в растворе гидролизуют на несколько (от 2 до 10 МС) остатков.

Представители дисахаридов:

а) лактоза (или молочный сахар) находится в молоке (4-5%), состоит из β ,D-галактозы и α ,D-глюкозы,

б) сахароза (свекловичный или тростниковый сахар) – широко распространенный пищевой углевод, состоит из α ,D-глюкозы и β ,D-фруктозы, которые связаны α -1,2-гликозидной связью;
Сахароза



в) мальтоза – продукт частичного гидролиза крахмала в ЖКТ; (состоит из 2 остатков α ,D-глюкозы);

г) целлобиоза – продукт неполного гидролиза клетчатки (состоит из 2 остатков β ,D-глюкозы);

Кроме того к олигосахаридам относится тетрасахариды (состоит из 4 МС), которые входят в состав женского молока, стимулируют развитие кишечной микрофлоры в организме младенца.

Полисахариды (гликаны, полигликозиды) – это биополимеры, которые состоят из большого количества МС остатков.

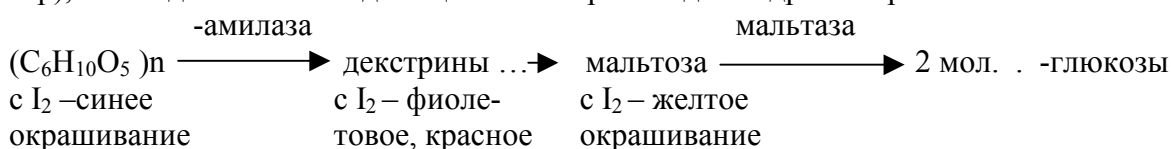
Делятся на:

Гомополисахариды – это биополимеры, которые состоят из большого количества одинаковых моносахаридных остатков. Представители: крахмал, гликоген (животный крахмал), клетчатка (целлюлоза), декстран, инсулин, пектин.

Крахмал: белое, гигроскопическое вещество, продукт фотосинтеза растений. Империческая формула $(C_6H_{10}O_5)_n$.

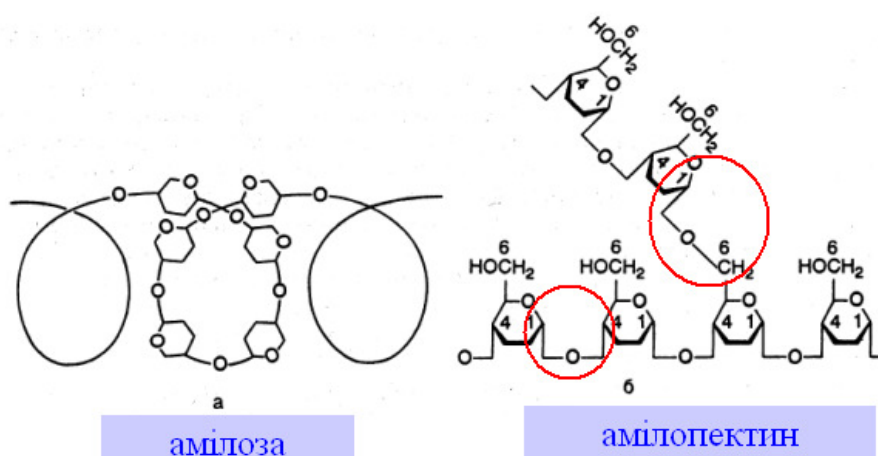
Структурной единицей является α ,D-глюкоза, остатки которой связаны между собою α -1,4 и 1,6 гликозидными связями. Имеет две фракции:

а) амилоза – до 20% (линейный полимер) и б) амилопектин – 80% (разветвленный полимер), имеет до 1 тыс. МС единиц. В ЖКТ происходит гидролиз крахмала по схеме:



Применение: крахмал – основной пищевой углевод. Он входит в состав злаковых, картофеля, риса. Кроме того, он используется для изготовления присыпок, паст, таблеток.

Строение крахмала:



13

Гликоген - $(C_6H_{10}O_5)_n$ - животный крахмал, резервный углевод всех тканей человека. Имеет большую молярную массу $1 \cdot 20 \cdot 10^7$ Д. Также состоит из остатков α, D -глюкозы, которые связаны α -1,4, и α -1,6 – гликозидными связями. В отличие от крахмала он более разветвленный.

Целлюлоза (клетчатка) – линейный неразветвленный полимер, состоит из остатков β, D -глюкозы (в отличие от предыдущих представителей), поэтому в организме человека не переваривается (нет соответствующих пищеварительных ферментов). Только жвачные животные и микроорганизмы способны ее усваивать. Однако, имеет важное значение в физиологии пищеварения человека (см. далее). Используется для изготовления бумаги, тканей, взрывчатых веществ.

Декстран – полисахарид бактериального происхождения. Используется в медицине как плазмо- и кровозаменитель (фармпрепараты: полиглюкин и реополиглюкин) и в биохимических исследованиях как гель для хроматографии.

Инулин – растительный ПС линейного строения, состоит из остатков β, D -фруктозы, используется в физиологии для определения скорости клубочковой фильтрации почек.

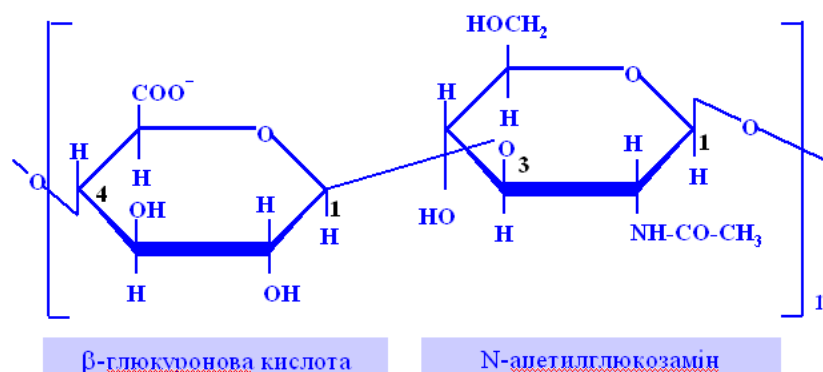
Пектин (пектиновые вещества), его мономером является полигалактуроновая кислота. Синтезируется высшими растениями и некоторыми водорослями. Пектин является основой лекарственных препаратов.

Гетерополисахариды – (гетерогликаны, мукополисахариды) – это биополимеры, состоящие из различных, многократно повторяющихся, МС остатков.

Представители:

Гиалуриновая кислота – состоит из β, D -глюкуроновой кислоты и N-ацетилглюкозамина, которые связаны β -1,3-гликозидной связью. Дисахаридный фрагмент повторяется многократно и образует гиалуриновую кислоту.

Дисахаридный фрагмент гиалуриновой кислоты –



Имеет линейную структуру, среди полисахаридов наибольшую молекулярную массу 10^7 Д. Выполняет следующие функции:

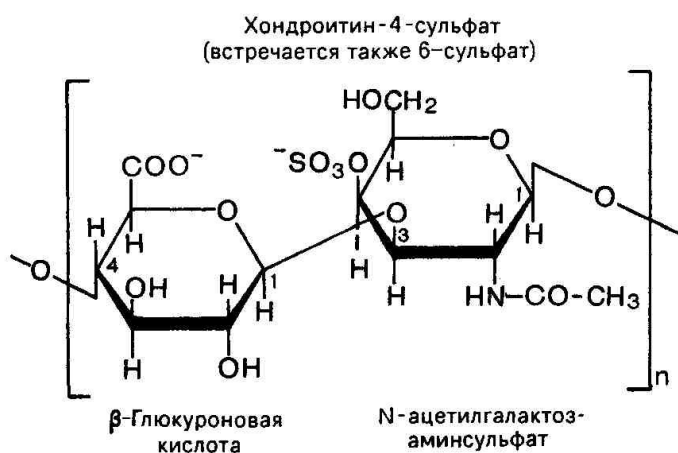
1. биологического цемента, который заполняет межклеточное пространство. Много гиалуроновой кислоты находится в коже, стекловидном теле глаза, пуповине новорожденных, хрящах и синовиальной жидкости суставов.

2. в тканях она образует комплексы с белками – *протеогликаны*. Эти углеводно-белковые комплексы выполняют функцию механической защиты клеток.

3. высокая вязкость и слизеподобная консистенция протеогликанов позволяет им выполнять функцию биологических масел. Они выстилают поверхности сосудов, слизистой носа, трахеи, бронхов и тем самым предотвращают их механическое повреждение.

4. важная функция - удержание и связывание воды и катионов, благодаря чему регулируется межклеточное осмотическое давление.

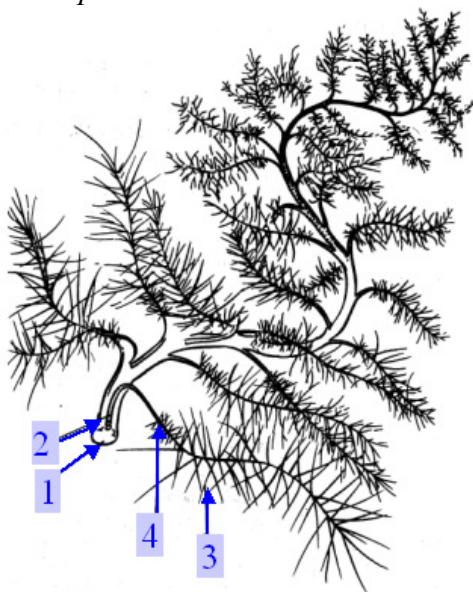
Хондроитинсульфаты – состоят из β ,D-глюкуроновой кислоты и N-ацетилглюкозамина сульфатированного в 2,4 или 6 положениях.



Дисахаридный фрагмент хондроитинсульфата

Они входят в состав кожи, костной ткани, трахеи, хрящей, аорты, артерий. Молярная масса составляет 10000 – 60000Д. В свободном состоянии не встречаются, всегда связаны с белками.

Гиалуроновая кислота и хондроитинсульфаты с белками образуют более сложные надмолекулярные комплексы – *агрегаты*.



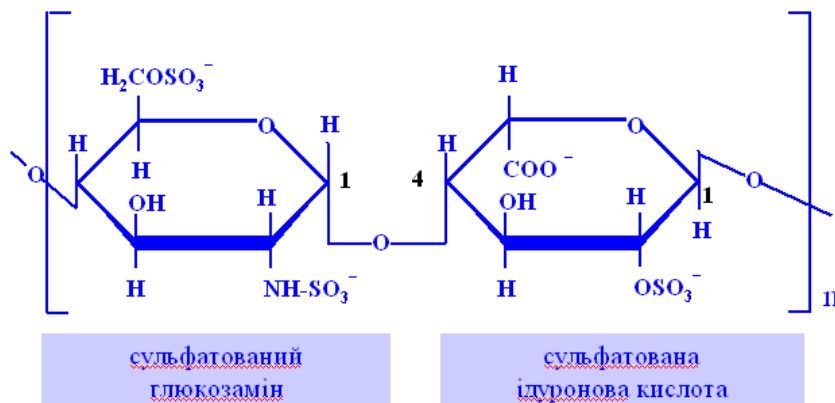
Структура протеогликанового агрегата

Методом электронной микроскопии было установлено строение протеогликановых агрегатов хрящевой ткани. Внешне они напоминают щетку для мытья, центральную часть которой образует гиалуроновая кислота. А равномерно, вдоль всей цепи через каждые 10 МС остатка, перпендикулярно основной цепи вмонтированы хондроитинсульфатные единицы.

Разновидностью такого белок-углеводного комплекса является дерматансульфат, который входит в состав кожи, аорты обладает некоторыми антикоагуляционными свойствами.

Гепарин и гепатансульфат – в отличие от других ПС не входят в состав компонентов межклеточного вещества, циркулирует в крови в свободном состоянии. Гепарин синтезируется тучными клетками соединительной ткани в печени.

Дисахаридный фрагмент гепарина



Основная функция гепарина – антикоагулянт крови, который блокирует действие антитромбина III.

Мурамин – гетерополисахарид клеточной стенки бактерий, представляющий собой неразветвленную механически прочную цепь. Клеточная стенка защищает мембрану бактерий от внешних повреждений. В целом структурным материалом клеточной стенки бактерий является протеогликановый комплекс – муреин, в состав которого входит мурамин. Муреин – это смешанный биополимер, протеогликан или пептидогликан, состоящий из небольших пептидных цепей (4 аминокислоты). Муреиновая оболочка является субстратом для фермента - *лизоцима* (*мурамидазы*). Лизоцим входит в состав пищеварительных соков ЖКТ человека и гидролитически расщепляет гликозидные связи муреиновой оболочки бактерий, размещенные ближе к пептидным цепям. За эту способность лизоцим относят к неспецифическим факторам иммунологической защиты организма человека.

3. Переваривание углеводов в ЖКТ, всасывание продуктов гидролиза.

Как известно, углеводы – главный источник энергии для человека, наиболее дешевая и доступная часть пищи, преимущественно растительного происхождения. Суточная потребность составляет – около **400 г** пищевых углеводов. Сбалансированное питание – подразумевает следующие соотношения - на 400 г углеводов ежедневно необходимо поступление с пищей до 100 г липидов и 100 г белков (4:1:1).

Основными пищевыми углеводами являются крахмал, содержащийся в зерновых, картофеле, рисе; свекловичный или тростниковый сахар – сахароза, и лактоза – углевод молока и некоторые другие.

Переваривание крахмала начинается в ротовой полости под действием фермента слюнных желез - *α-амилазы*. Она расщепляет **α,1-4** -гликозидные связи в середине молекулы крахмала. Оптимум pH действия амилазы - нейтральная или слабощелочная среда 7,0-7,2. Вследствие действия слюнной *α*-амилазы образуются *декстрины*: полисахариды разной длины.

В желудке переваривание углеводов не происходит, потому что там нет необходимых ферментов, а также сильно кислая реакция среды.

В тонком кишечнике происходит основная фаза переваривания крахмала под действием фермента α -амилазы панкреатического сока – главного пищеварительного фермента, дополнительную роль играют ферменты амило-1,6-гликозидазы и олиго-1,6-гликозидазы.

Под действием этих ферментов декстрины гидролизуют до *мальтозы* – дисахарида, а мальтоза под действием фермента мальтазы расщепляется на 2 молекулы *α ,D-глюкозы*. Таким образом, конечным продуктом переваривания углеводов в ЖКТ являются моносахариды. Другие пищевые углеводы имеют в ЖКТ соответствующие ферменты: сахаразу, лактазу, которые гидролизуют дисахариды до МС.

Всасывание МС происходит в тонком кишечнике. Это активный процесс, который требует затрат энергии АТФ и наличия белков-переносчиков. Скорость всасывания отдельных МС различна. Глюкоза и галактоза всасываются наиболее быстро.

Больше 90% пищевых МС, которые образовались в ЖКТ, после всасывания попадают в кровеносное русло и по воротной вене поступают в печень. Начинается промежуточный обмен углеводов.

4. Роль клетчатки и других пищевых волокон в пищеварении.

Целлюлоза (или клетчатка) – гомополисахарид, который является главным структурным компонентом клеточных стенок растений: фруктов и овощей. Молекулы целлюлозы – линейные неразветвленные цепи, которые состоят из *остатков β ,D-глюкозы* и напоминают *волокна (нити)*. В пищеварительном тракте человека целлюлоза не расщепляется, поскольку у нас нет для этого соответствующего фермента α -амилазы. Кроме клетчатки с едой в пищеварительный тракт попадают и другие растительные полисахариды, которые формируют пищевые волокна, к ним относятся: целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнины, смолы, пектозаны.

Пищевые волокна играют важную роль в физиологии пищеварения:

- стимулируют моторику кишечника;
- задерживают воду в кишечнике и формируют каловые массы;
- адсорбируют холестерин, желчные кислоты, билирубин и способствуют их выведению;
- выводят экзо- и эндогенные токсины и радионуклеиды.
- являются источником питания для кишечной микрофлоры, которая синтезирует из них некоторые витамины: К, В₃, В₈, В₉, В₁₂.

5. Промежуточный обмен:

Процессы обмена углеводов, происходящие в тканях и в печени относятся к промежуточному обмену. Все углеводы способны превращаться друг в друга, а главное – в глюкозу. Промежуточный обмен включает следующие процессы:

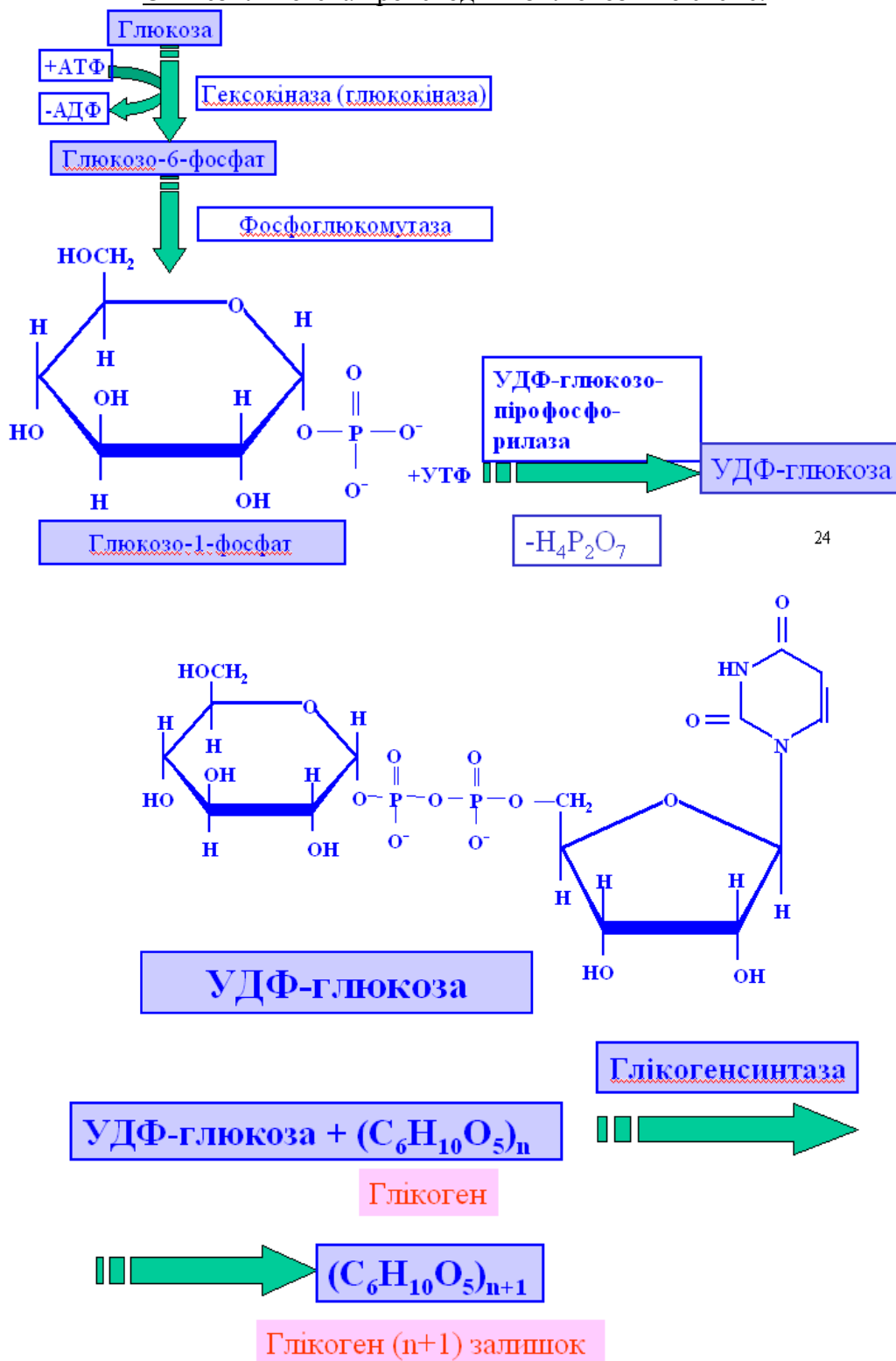
1. синтез и распад гликогена;
2. взаимопревращение углеводов друг в друга;
3. гликолиз – анаэробное окисление глюкозы;
4. полное аэробное окисление глюкозы до CO_2 и H_2O , которое включает:
 - окислительное декарбоксилирование пирувата;
 - цикл трикарбоновых кислот Кребса;
5. пентозный цикл;
6. глюконеогенез;

5.1 Синтез и распад гликогена.

Синтез гликогена (гликогенез) происходит во всех клетках организма. Присутствие гликогена в клетке говорит о ее нормальном функциональном состоянии. Уменьшение количества гликогена в клетке свидетельствует о ее энергетическом голоде.

Гликоген (животный крахмал) – основной запасной углевод организма человека и животных. Он накапливается в основном в печени – до 6% и в скелетных мышцах – до 1%. Это плотные гранулы, которые кроме гликогена содержат ферменты его синтеза и распада. Оба процесса синтеза и распада гликогена регулируют концентрацию глюкозы в крови и создают резерв глюкозы для мышечной работы.

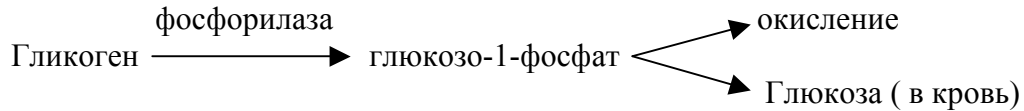
Синтез гликогена происходит из глюкозы по схеме:



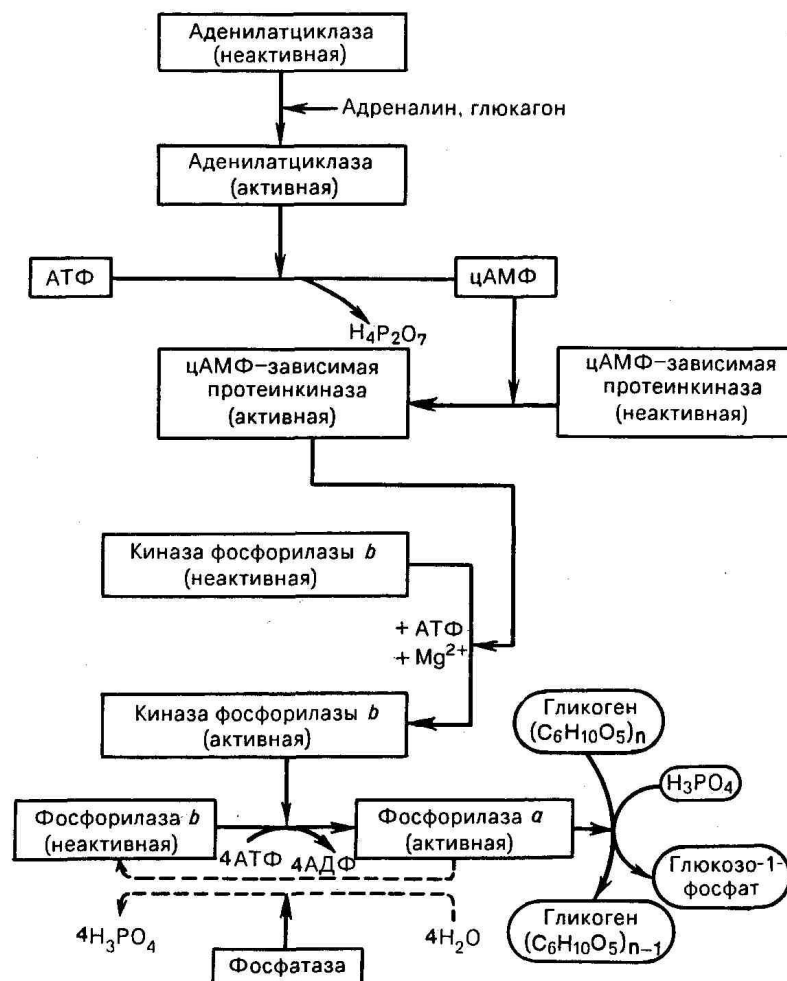
Гликогенсинтетаза образует α -1,4-гликозидные связи и не способна образовывать α -1,6-гликозидные связи. Этот процесс катализируется специальным *гликогенветвящим ферментом или амило-(1,4)->(1,6)-трансгликозидазой*.

Разветвление повышает растворимость гликогена. Кроме того, создается большее количество невосстановленных МС остатков, которые являются местом действия гликогенфосфорилазы. Синтез гликогена зависит от количества глюкозы в крови. Гликоген – лабильное вещество.

Распад гликогена (гликогенолиз) происходит путем фосфоролитического расщепления гликогена по схеме:



Регуляция распада гликогена осуществляется гормонами, в основном адреналином и глюкагоном. Процесс происходит лавинообразно. На каждом этапе наблюдается десятикратное усиление сигнала. *Механизм* действия адреналина и глюкагона называется *каскадным или аденилатциклизным* и состоит из следующих этапов. При снижении концентрации глюкозы в крови выделяется адреналин (глюкагон). Он находит рецепторы на поверхности мембран клеток-мишеней и активирует их. Активный гормон-рецепторный комплекс активирует фермент аденилатциклазу, которая находится в клетке. Активная аденилатциклаза катализирует синтез **ц-АМФ** (*вторичного посредника гормонального сигнала или мессенджера*) из АТФ, что активирует последующие этапы процесса.



Аденилатциклизный механизм распада гликогена под действием гормонов

Ц-АМФ активирует фермент фосфопротеинкиназу. Она в свою очередь превращает неактивную киназу фосфорилазы „б” в активную киназу фосфорилазы „а”. Киназа активирует следующий фермент фосфорилазу, превращая неактивную „б” в активную „а”. Она, в свою очередь, стимулирует фосфоролиз – расщепление гликогена с отрывом от него мономера глюкозо-1-фосфата. Под действием фосфомутазы глюкозо-1-фосфат превращается в глюкозо-6-фосфат, который под действием фосфотазы превращается в свободную глюкозу. Именно эта, свободная нефосфорилированная глюкоза поступает в кровь. Уровень глюкозы в крови повышается.

Следует заметить, что только свободная глюкоза способна проходить в кровь через мембраны. Фосфорилированная глюкоза не может диффундировать из клетки. В мышцах отсутствует фермент глюкозо-6-фосфорилаза, поэтому не образуется свободная глюкоза. Выход глюкозы из мышечной ткани в кровь не происходит.

Сохранение постоянной концентрации глюкозы в крови является результатом одновременного протекания двух противоположных процессов: *поступления глюкозы в кровь* из клеток печени за счет распада гликогена и *использование ее тканями* для синтеза гликогена и как источника энергии.

2 Взаимопревращение моносахаридов.

Происходит под действием ферментов эпимераз, преимущественно в печени. Все моносахариды способны превращаться друг в друга, но главное могут превращаться в глюкозу. Например, галактоза, фруктоза сначала активируются, а потом под действием ферментов превращаются в глюкозу.