

АО «Медицинский Университет Астана»

Тема: **углеводы**

Выполнила: Сейткасым Ш.К 6/110 гр.

АСТАНА

Углевóды — органические вещества, содержащие карбонильную группу и несколько гидроксильных групп^[1]. Название класса соединений происходит от слов «гидраты углерода», оно было впервые предложено К. Шмидтом в 1844 году. Появление такого названия связано с тем, что первые из известных науке углеводов описывались брутто-формулой $C_x(H_2O)_y$, формально являясь соединениями углерода и воды.

Жирная пища и
простые сахара

Надо стараться не
употреблять в пищу эти
компоненты.

Белковая
пища

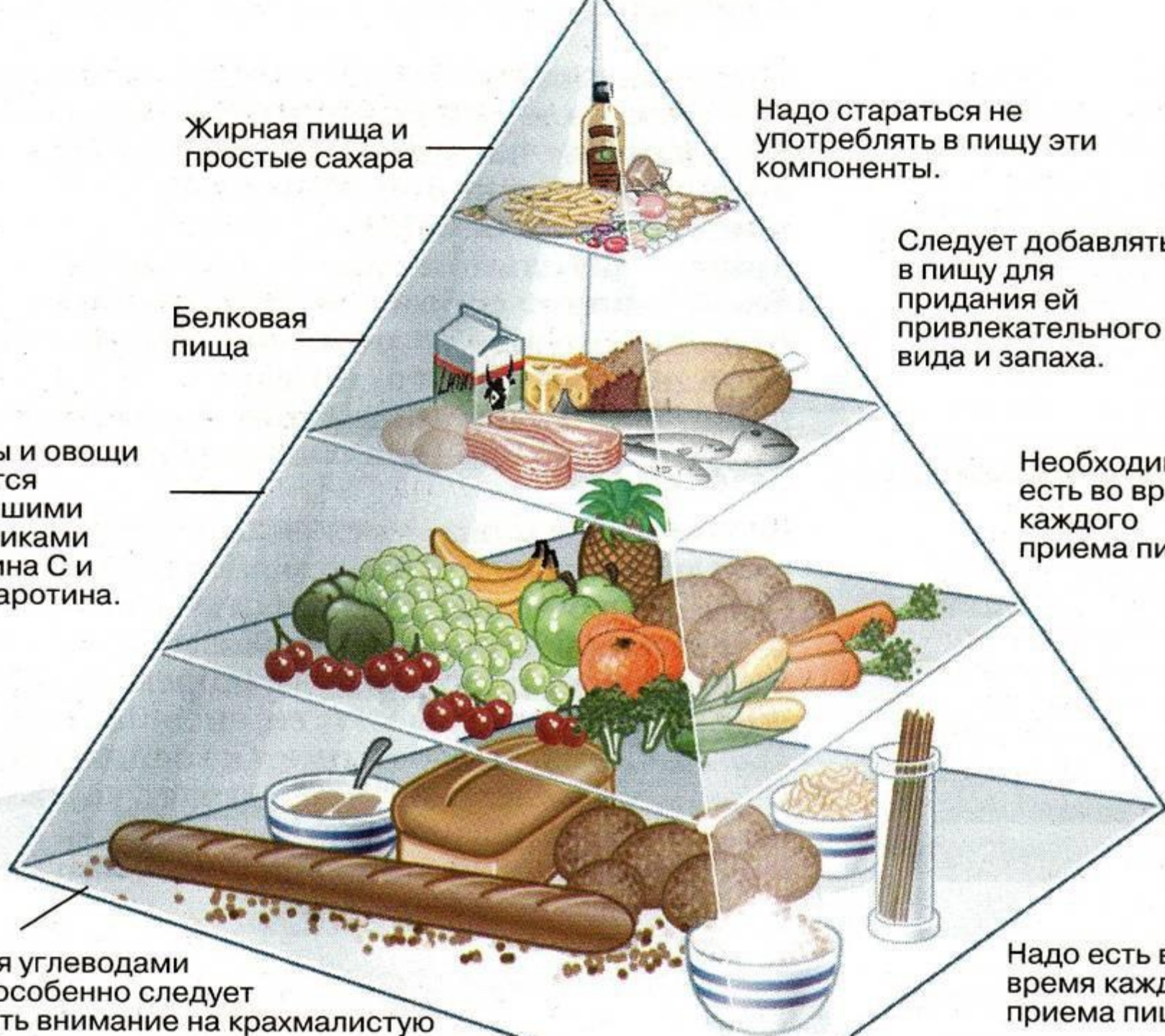
Следует добавлять
в пищу для
придания ей
привлекательного
вида и запаха.

Фрукты и овощи
являются
наилучшими
источниками
витамина С и
бета-каротина.

Необходимо
есть во время
каждого
приема пищи.

Богатая углеводами
пища, особенно следует
обратить внимание на крахмалистую

Надо есть во
время каждого
приема пищи.



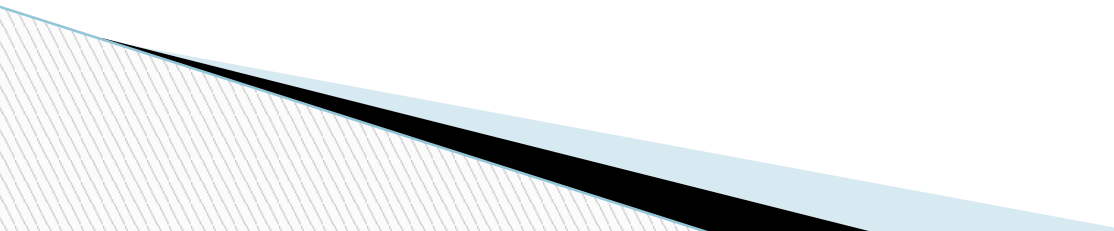
- **Углеводный обмен** или метаболизм углеводов в организмах животных и человека. Метаболизм углеводов в организме человека состоит из следующих процессов:
- Расщепление в пищеварительном тракте поступающих с пищей поли- и дисахаридов до моносахаридов, дальнейшее всасывание моносахаридов из кишечника в кровь.
- Синтез и распад гликогена в тканях (гликогенез и гликогенолиз), прежде всего в печени.
- Гликолиз — распад глюкозы. Первоначально под этим термином обозначали только анаэробное брожение, которое завершается образованием молочной кислоты (лактата) или этанола и углекислого газа. В настоящее время понятие «гликолиз» используется более широко для описания распада глюкозы, проходящего через образование глюкозо-6-фосфата, фруктозодифосфата и пирувата как в отсутствии, так и в присутствии кислорода. В последнем случае употребляется термин «аэробный гликолиз», в отличие от «анаэробного гликолиза», завершающегося образованием молочной кислоты или лактата.
- Анаэробный путь прямого окисления глюкозы или, как его называют, пентозофосфатный путь (пентозный цикл).
- Взаимопревращение гексоз
- Анаэробный метаболизм пирувата. Этот процесс выходит за рамки углеводного обмена, однако может рассматриваться как завершающая его стадия: окисление продукта гликолиза — пирувата.
- Глюконеогенез — образование углеводов из неуглеводных продуктов (пирувата, лактата, глицерина, аминокислот, липидов, белков и т. д.).

□ Краткие сведения об углеводах

□ Основная статья: Углеводы

□ Углеводы входят в состав живых организмов и вместе с белками, липидами и нуклеиновыми кислотами определяют специфичность их строения и функционирования. К углеводам относят соединения, обладающие разнообразными и зачастую сильно отличающимися функциями. Углеводы участвуют во многих метаболических процессах, но прежде всего они являются основными поставщиками энергии. На долю углеводов приходится примерно 75 % массы пищевого суточного рациона и более 50 % от суточного количества необходимых калорий. Однако неправильно сводить функцию углеводов только к энергетическому обеспечению процессов жизнедеятельности организма. Следует отметить и структурную роль углеводов. Так, в виде гликозаминогликанов углеводы входят в состав межклеточного матрикса. Большое число белков (ферменты, белки-транспортёры, белки-рецепторы, гормоны) — гликопротеины, углеводная составляющая которых повышает их специфичность. Например, различия в строении олигосахаридных фрагментов клеточной оболочки эритроцитов обеспечивают групповую принадлежность крови. Из углеводов в процессе метаболизма образуется большое число органических соединений, которые служат исходными субстратами для синтеза липидов, аминокислот, нуклеотидов. Производные углеводов — глюкуроны — участвуют в детоксикации ксенобиотиков и инактивации веществ эндогенного происхождения. Углеводы могут быть синтезированы в организме с использованием других метаболитов: некоторых аминокислот, глицерина, молочной кислоты. Углеводы нельзя считать незаменимыми компонентами пищи. Однако если исключить углеводы из диеты, то следствием может быть гипогликемия, для компенсации которой будут расходоваться белки и липиды. Таким образом, углеводы — обязательные пищевые компоненты, потому что помимо их основной энергетической функции (клеточные «дрова») углеводы участвуют во многих метаболических клеточных процессах^[1].

Переваривание и всасывание углеводов
Эпителиальные клетки кишечника способны всасывать только моносахариды. Поэтому процесс переваривания заключается в ферментативном гидролизе гликозидных связей в углеводах, имеющее олиго- или полисахаридное строение.



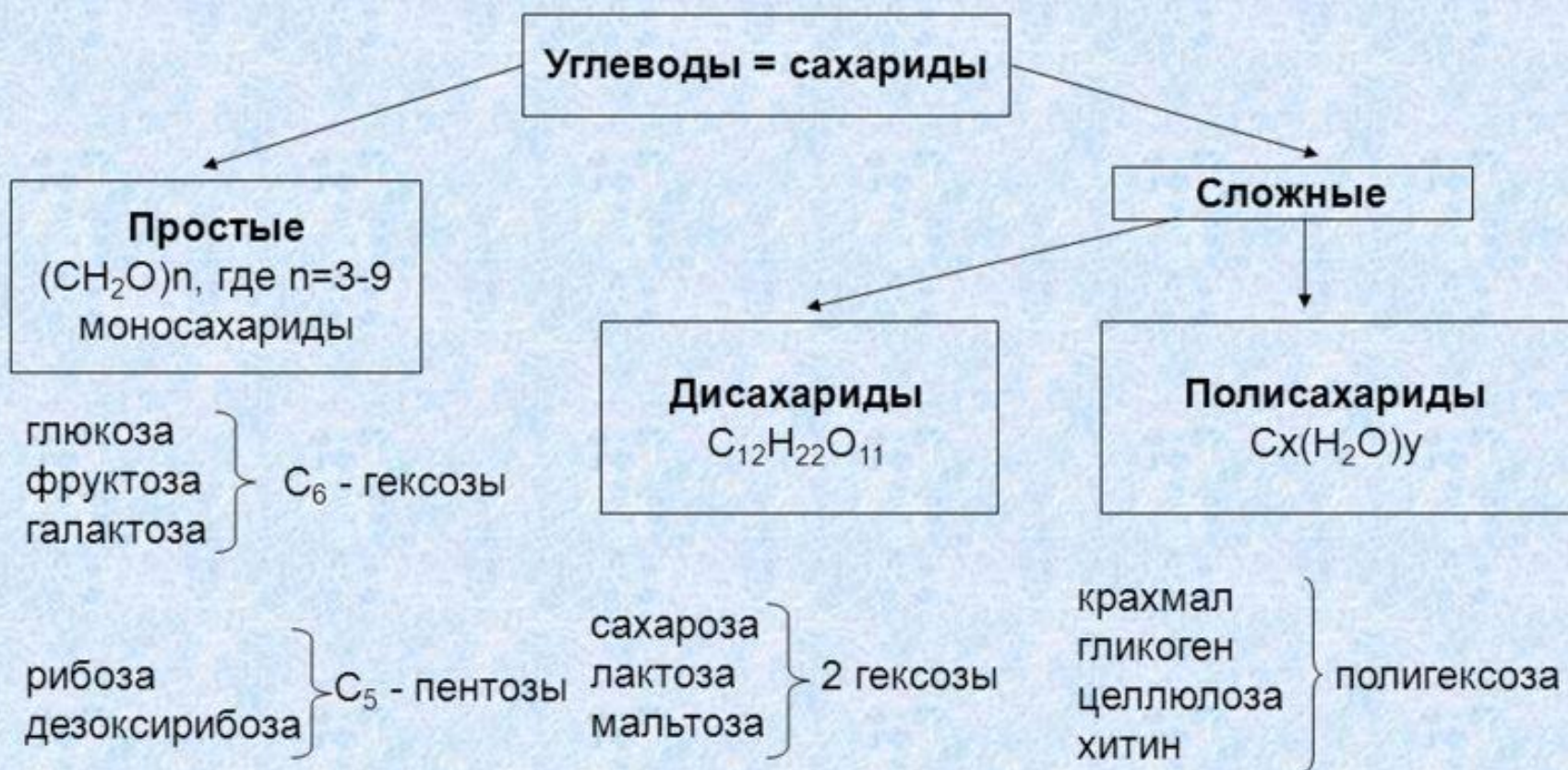
❑ **Переваривание углеводов в полости рта**

- ❑ В полости рта начинается расщепление **крахмала** (и **гликогена**) под действием **фермента слюны** — **амилазы**. Известны 3 вида амилаз, которые различаются главным образом по конечным продуктам их ферментативного действия:
- ❑ α-амилаза
- ❑ β-амилаза
- ❑ γ-амилаза
- ❑ α-Амилаза расщепляет в **полисахаридах** внутренние α-1,4-связи, поэтому её иногда называют эндоамилазой. Молекула α-амилазы содержит в своих активных центрах ионы Ca^{2+} необходимые для ферментативной активности. Кроме того, характерной особенностью α-амилазы животного происхождения является способность активироваться одновалентными анионами. прежде всего Cl^- .
- ❑ Структура α-амилазы слюнных желез. Катион **кальция** показан жёлтым цветом, анион **хлора** — зелёным.
- ❑ Слюнная α-амилаза представляет собой смесь близких электрофоретически разделяемых **изоферментов**. Каждый из них — однопепочный **полипептид** (мол. масса 56000), к которому присоединен олигосахарид. Структура этого **олигосахарида**, а также число его молекул на одну молекулу белка и способ прикрепления к **белку** неизвестны. Удивительно, что не существует соответствующих ферментов в слюне некоторых приматов, например у бабуинов или резусов.
- ❑ В **ротовой полости** не может происходить полное расщепление **крахмала**, так как действие фермента на крахмал кратковременно. Кроме того, амилаза слюны не расщепляет α-1,6-гликозидные связи (связи в местах разветвлений), поэтому крахмал переваривается лишь частично с образованием крупных фрагментов — **декстринов** и небольшого количества **мальтозы**. Следует отметить, что амилаза слюны не гидролизует **гликозидные связи** в **дисахаридах**.
- ❑ Под действием β-амилазы от **крахмала** отщепляется **дисахарид мальтоза**, то есть β-амилаза является экзоамилазой. Она обнаружена у высших растений где играет важную роль в мобилизации резервного (запасного) **крахмала**.
- ❑ γ-Амилаза отщепляет один за другим глюкозные остатки от конца полигликозидной цепочки. Различают 2 вида γ-амилаз: кислые и нейтральные, в зависимости от того в какой области pH они проявляют максимальную активность. В органах и тканях **человека** **имлекопитающих** кислая γ-амилаза локализована в **лизосомах**, а нейтральная — в **микросомах** и **гиалоплазме**. Амилаза слюны является α-амилазой. Под влиянием этого фермента происходят первые фазы распада крахмала (или гликогена) с образованием декстринов (в небольшом количестве образуется и **мальтоза**). Затем пища смешанная со слюной попадает в **желудок**.
- ❑ **Желудочный сок** не содержит ферментов расщепляющие сложные **углеводы** (например **целлюлозу**). В желудке действие α-амилазы слюны прекращается так как желудочное содержимое имеет очень **кислую среду** (pH 1,5 — 2,5). Однако в более глубоких слоях пищевого комка, куда не сразу проникает желудочный сок, действие амилазы некоторое время продолжается и происходит расщепление полисахаридов с образованием декстринов и мальтозы. Наиболее важная фаза распада крахмала (или гликогена) протекает в **двенадцатиперстной кишке** под действием α-амилазы **поджелудочного сока**. Здесь pH возрастает до нейтральных значений, при этих условиях α-амилаза панкреатического сока обладает почти максимальной активностью. Этот фермент завершает превращение **крахмала** и **гликогена** в **мальтозу**, начатое амилазой слюны.

❑ **Переваривание углеводов в кишечнике**

- ❑ Расщепление крахмала и гликогена до мальтозы в кишечнике происходит под действием 3-х ферментов:
 - ❑ панкреатической α -амилазы
 - ❑ амила-1,6-глюкозидазы
 - ❑ олиго-1,6-глюкозидазы
- ❑ Образующаяся мальтоза оказывается только временным продуктом, так как она быстро гидролизуеться под влиянием фермента мальтазы (α -глюкозидазы) на 2 молекулы глюкозы. Кишечный сок также содержит активную сахаразу, под действием которой образуются глюкоза и фруктоза.

Классификация углеводов



Чем больше молекулярная масса углеводов, тем менее растворимое вещество и не сладкое на вкус.

- ▣ **Моносахариды** (от греческого *monos* — единственный, *sacchar* — сахар) — простейшие углеводы, не гидролизующиеся с образованием более простых углеводов — обычно представляют собой бесцветные, легко растворимые в воде, плохо — в спирте и совсем нерастворимые в эфире, твёрдые прозрачные органические соединения^[2], одна из основных групп углеводов, самая простая форма сахара. Водные растворы имеют нейтральную pH. Некоторые моносахариды обладают сладким вкусом. Моносахариды содержат карбонильную (альдегидную или кетонную) группу, поэтому их можно рассматривать как производные многоатомных спиртов. Моносахарид, у которого карбонильная группа расположена в конце цепи, представляет собой альдегид и называется альдоза. При любом другом положении карбонильной группы моносахарид является кетоном и называется кетоза. В зависимости от длины углеродной цепи (от трёх до десяти атомов) различают триозы, тетрозы, пентозы, гексозы, гептозы и так далее. Среди них наибольшее распространение в природе получили пентозы и гексозы^[2]. Моносахариды — стандартные блоки, из которых синтезируются дисахариды, олигосахариды и полисахариды.
- ▣ В природе в свободном виде наиболее распространена D-глюкоза (C₆H₁₂O₆) — структурная единица многих дисахаридов (мальтозы, сахарозы и лактозы) и полисахаридов (целлюлоза, крахмал). Другие моносахариды, в основном, известны как компоненты ди-, олиго- или полисахаридов и в свободном состоянии встречаются редко. Природные полисахариды служат основными источниками моносахаридов^[2].

▣ Дисахариды

- ▣ Мальтоза (солодовый сахар) — природный дисахарид, состоящий из двух остатков глюкозы
- ▣ Основная статья: Дисахариды
- ▣ *Дисахариды* (от *di* — два, *sacchar* — сахар) — сложные органические соединения, одна из основных групп углеводов, при гидролизе каждая молекула распадается на две молекулы моносахаридов, являются частным случаем олигосахаридов. По строению дисахариды представляют собой гликозиды, в которых две молекулы моносахаридов соединены друг с другом гликозидной связью, образованной в результате взаимодействия гидроксильных групп (двух полуацетальных или одной полуацетальной и одной спиртовой). В зависимости от строения дисахариды делятся на две группы: восстанавливающие и невосстанавливающие. Например, в молекуле мальтозы у второго остатка моносахарида (глюкозы) имеется свободный полуацетальный гидроксил, придающий данному дисахариду восстанавливающие свойства. Дисахариды наряду с полисахаридами являются одним из основных источников углеводов в рационе человека и животных^[3].

□ Олигосахариды

□ Рафиноза — природный трисахарид, состоящий из остатков D-галактозы, D-глюкозы и D-фруктозы.

□ Основная статья: Олигосахариды

□ Олигосахариды (от греч. ὀλίγος — немногий) — углеводы, молекулы которых синтезированы из 2 — 10 остатков моносахаридов, соединённых гликозидными связями. Соответственно различают: дисахариды, трисахариды и так далее^[3]. Олигосахариды, состоящие из одинаковых моносахаридных остатков, называют гомополисахаридами, а из разных — гетерополисахаридами. Наиболее распространены среди олигосахаридов дисахариды.

□ Среди природных трисахаридов наиболее распространена рафиноза — невосстанавливающий олигосахарид, содержащий остатки фруктозы, глюкозы и галактозы — в больших количествах содержится в сахарной свёкле и во многих других растениях^[3].

□

- *Полисахариды* — общее название класса сложных высокомолекулярных **углеводов**, **молекулы** которых состоят из десятков, сотен или тысяч **мономеров** — **моносахаридов**. С точки зрения общих принципов строения в группе полисахаридов возможно различить гомополисахариды, синтезированные из однотипных моносахаридных единиц и гетерополисахариды, для которых характерно наличие двух или нескольких типов мономерных остатков^[4].
- Гомополисахариды (*гликаны*), состоящие из остатков одного моносахарида, могут быть **гексозами** или **пентозами**, то есть в качестве мономера может быть использована гексоза или пентоза. В зависимости от химической природы полисахарида различают глюканы (из остатков **глюкозы**), маннаны (из **маннозы**), галактаны (из **галактозы**) и другие подобные соединения. К группе гомополисахаридов относятся органические соединения растительного (**крахмал**, **целлюлоза**, **пектиновые вещества**), животного (**гликоген**, **хитин**) и бактериального (**декстраны**) происхождения^[2].
- Полисахариды необходимы для жизнедеятельности **животных** и **растительных организмов**. Это один из основных источников **энергии организма**, образующейся в результате **обмена веществ**. Полисахариды принимают участие в иммунных процессах, обеспечивают сцепление **клеток** в тканях, являются основной массой органического вещества в **биосфере**.

□ Крахмал ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n — смесь двух гомополисахаридов: линейного — амилозы и разветвлённого — амилопектина, мономером которых является альфа-глюкоза. Белое аморфное вещество, не растворимое в холодной воде, способное к набуханию и частично растворимое в горячей воде^[2]. Молекулярная масса 10^5 — 10^7 Дальтон. Крахмал, синтезируемый разными растениями в хлоропластах, под действием света при фотосинтезе, несколько различается по структуре зёрен, степени полимеризации молекул, строению полимерных цепей и физико-химическим свойствам. Как правило, содержание амилозы в крахмале составляет 10—30 %, амилопектина — 70—90 %. Молекула амилозы содержит в среднем около 1 000 остатков глюкозы, связанных между собой альфа-1,4-связями. Отдельные линейные участки молекулы амилопектина состоят из 20—30 таких единиц, а в точках ветвления амилопектина остатки глюкозы связаны межцепочечными альфа-1,6-связями. При частичном кислотном гидролизе крахмала образуются полисахариды меньшей степени полимеризации — декстрины ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_p, а при полном гидролизе — глюкоза^[4].

□ Гликогён ($C_6H_{10}O_5$)_n — полисахарид, построенный из остатков альфа-D-глюкозы — главный резервный полисахарид высших животных и человека, содержится в виде гранул в цитоплазме клеток практически во всех органах и тканях, однако, наибольшее его количество накапливается в мышцах и печени. Молекула гликогена построена из ветвящихся полиглюкозидных цепей, в линейной последовательности которых, остатки глюкозы соединены посредством альфа-1,4-связями, а в точках ветвления межцепочечными альфа-1,6-связями. Эмпирическая формула гликогена идентична формуле крахмала. По химическому строению гликоген близок к амилопектину с более выраженной разветвлённостью цепей, поэтому иногда называется неточным термином «животный крахмал». Молекулярная масса 10^5 — 10^8 Дальтон и выше^[4]. В организмах животных является структурным и функциональным аналогом полисахарида растений — *крахмала*. Гликоген образует энергетический резерв, который при необходимости восполнить внезапный недостаток глюкозы может быть быстро мобилизован — сильное разветвление его молекулы ведёт к наличию большого числа концевых остатков, обеспечивающих возможность быстрого отщепления нужного количества молекул глюкозы^[2]. В отличие от запаса триглицеридов (жиров) запас гликогена не настолько ёмок (в калориях на грамм). Только гликоген, запасённый в клетках печени (гепатоцитах) может быть переработан в глюкозу для питания всего организма, при этом гепатоциты способны накапливать до 8 процентов своего веса в виде гликогена, что является максимальной концентрацией среди всех видов клеток. Общая масса гликогена в печени взрослых может достигать 100—120 граммов. В мышцах гликоген расщепляется на глюкозу исключительно для локального потребления и накапливается в гораздо меньших концентрациях (не более 1 % от общей массы мышц), тем не менее общий запас в мышцах может превышать запас, накопленный в гепатоцитах.

- ▣ **Целлюло́за** (клетча́тка) — наиболее распространённый структурный полисахарид растительного мира, состоящий из остатков альфа-глюкозы, представленных в бета-пиранозной форме. Таким образом, в молекуле целлюлозы бета-глюкопиранозные мономерные единицы линейно соединены между собой бета-1,4-связями. При частичном гидролизе целлюлозы образуется дисахарид целлобиоза, а при полном — D-глюкоза. В желудочно-кишечном тракте человека целлюлоза не переваривается, так как набор пищеварительных ферментов не содержит бета-глюкозидазу. Тем не менее, наличие оптимального количества растительной клетчатки в пище способствует нормальному формированию каловых масс^[4]. Обладая большой механической прочностью, целлюлоза выполняет роль опорного материала растений, например, в составе древесины её доля варьирует от 50 до 70 %, а **хлопок** представляет собой практически стопроцентную целлюлозу^[2].
- ▣ **Хити́н** — структурный полисахарид низших растений, грибов и беспозвоночных животных (в основном роговые оболочки членистоногих — насекомых и ракообразных). Хитин, подобно целлюлозе в растениях, выполняет опорные и механические функции в организмах грибов и животных. Молекула хитина построена из остатков N-ацетил-D-глюкозамина, связанных между собой бета-1,4-гликозидными связями. Макромолекулы хитина неразветвлённые и их пространственная укладка не имеет ничего общего с целлюлозой^[2]

■ **Транспорт глюкозы из крови в клетки**

- Потребление глюкозы клетками из кровотока происходит также путём облегчённой диффузии. Следовательно, скорость трансмембранного потока глюкозы зависит только от градиента её концентрации. Исключение составляют клетки мышц и жировой ткани, где облегчённая диффузия регулируется инсулином (гормон поджелудочной железы). В отсутствие инсулина плазматическая мембрана этих клеток непроницаема для глюкозы, так как она не содержит белки-переносчики (транспортёры) глюкозы. Транспортёры глюкозы называют также рецепторами глюкозы. Например, описан транспортёр глюкозы, выделенный из эритроцитов. Это трансмембранный белок, полипептидная цепь которого построена из 492 аминокислотных остатков и имеет доменную структуру. Полярные домены белка расположены по разные стороны мембраны, гидрофобные располагаются в мембране, пересекая её несколько раз. Транспортёр имеет участок связывания глюкозы на внешней стороне мембраны. После присоединения глюкозы конформация белка изменяется, в результате чего глюкоза оказывается связанной с белком в участке, обращённом внутрь клетки. Затем глюкоза отделяется от транспортёра, переходя внутрь клетки. Считают, что способ облегчённой диффузии по сравнению с активным транспортом предотвращает транспорт ионов вместе с глюкозой, если она транспортируется по градиенту концентрации.

- ❑ **Нарушения переваривания и всасывания углеводов**
- ❑ Основная статья: мальабсорбция
- ❑ В основе патологии переваривания и всасывания углеводов могут быть причины двух типов:
- ❑ дефекты ферментов, участвующих в гидролизе углеводов в кишечнике;
- ❑ нарушение всасывания продуктов переваривания углеводов в клетки слизистой оболочки кишечника.
- ❑ В обоих случаях возникает осмотическая диарея, которую вызывают нерасщеплённые дисахариды или невсосавшиеся моносахариды. Эти невостребованные углеводы поступают в дистальные отделы кишечника, изменяя осмотическое давление содержимого кишечника. Кроме того, оставшиеся в просвете кишечника углеводы частично подвергаются ферментативному расщеплению микроорганизмами с образованием органических кислот и газов. Всё вместе приводит к притоку воды в кишечник, увеличению объёма кишечного содержимого, усилению перистальтики, спазмам и болям, а также метеоризму.
- ❑ Термином «мальабсорбция» называют недостаточное всасывание переваренных продуктов углеводов. Но поскольку клинические проявления при недостаточном переваривании и всасывании сходны, то термином «мальабсорбция» называют оба вида нарушений.

- Анаболизм и катаболизм гликогена
- *Дополнительные сведения: Гликоген*
- **Многие ткани синтезируют в качестве резервной формы глюкозы гликоген. Синтез и распад гликогена обеспечивают постоянство концентрации глюкозы в крови и создают депо для её использования тканями по мере необходимости.**
- Гликоген — одна из самых главных форм запасаания углеводов у грибов, животных и человека.
- Структура гликогена
- Гликоген — разветвлённый гомополимер глюкозы, в котором остатки глюкозы соединены в линейных участках α -1,4-гликозидной связью. В точках ветвления мономеры соединены α -1,6-гликозидными связями. Эти связи образуются примерно с каждым десятым остатком глюкозы. Следовательно, точки ветвления в гликогене встречаются примерно через каждые десять остатков глюкозы. Так возникает древообразная структура с молекулярной массой $>10^7$ Д, что соответствует приблизительно 50 000 остатков глюкозы. Таким образом, в молекуле гликогена имеется только одна свободная аномерная ОН-группа и, следовательно, только один восстанавливающий (редуцирующий) конец.
- При полимеризации глюкозы снижается растворимость образующейся молекулы гликогена и, следовательно, её влияние на осмотическое давление в клетке. Это обстоятельство объясняет, почему в клетке депонируется гликоген, а не свободная глюкоза.
- После приёма пищи, богатой углеводами, запас гликогена в печени может составлять примерно 4 %-5 % от её массы. В мышцах запасается около 1 % гликогена, однако масса мышечной ткани значительно больше и поэтому общее количество гликогена в мышцах в 2 раза больше, чем в печени. Гликоген может синтезироваться во многих клетках, например в нейронах, макрофагах, клетках жировой ткани, но содержание его в этих тканях незначительно. В организме может содержаться до 450 г гликогена.

- ▣ Запасы углеводов в организме нормального человека (массой 70 кг) после приёма пищи. В таблице приведены средние показатели.

Углевод Процентное содержание и масса

Гликоген печени 4 % = 72 г

Мышечный гликоген 0,7 % = 245г

Внеклеточная глюкоза 0,1 % = 10 г

Итого-327 г

□ Гликогенез

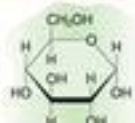
- Гликоген синтезируется в период пищеварения (через 1-2 ч после приёма углеводной пищи). Следует отметить, что синтез гликогена из глюкозы, как и любой анаболический процесс, является эндергоническим, то есть требующим затрат энергии.
- Глюкоза, поступающая в клетку, фосфорилируется при участии АТФ. Затем глюкозо-6-фосфат в ходе обратимой реакции превращается в глюкозо-1-фосфат под действием фермента фосфоглюкомутазы. Глюкозо-1-фосфат по термодинамическому состоянию мог бы служить субстратом для синтеза гликогена. Но в силу обратимости реакции глюкозо-6-фосфат $\leftrightarrow$ глюкозо-1-фосфат синтез гликогена из глюкозо-1-фосфата и его распад оказались бы также обратимыми и поэтому неконтролируемыми. Чтобы синтез гликогена был термодинамически необратимым, необходима дополнительная стадия образования уридинди-фосфатглюкозы из УДФ и глюкозо-1-фосфата. Фермент, катализирующий эту реакцию, назван по обратной реакции: УДФ-глюкопирофосфорилаза. Однако в клетке обратная реакция не протекает, потому что образовавшийся в ходе прямой реакции пирофосфат очень быстро расщепляется пирофосфатазой на 2 молекулы фосфата.
- Реакция образования УДФ-глюкозы обуславливает необратимость всей серии реакций, протекающих при синтезе гликогена. Этим же объясняется невозможность протекания распада гликогена путём простого обращения процесса его синтеза.

СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ УГЛЕВОДОВ

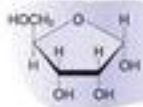
СТРОЕНИЕ

МОНОСАХАРИДЫ

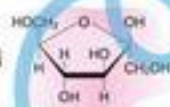
Глюкоза



Рибоза

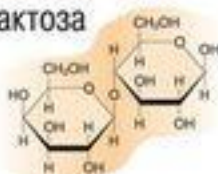


Фруктоза



ДИСАХАРИДЫ

Лактоза

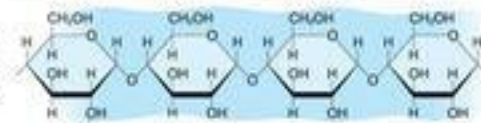


Мальтоза



ПОЛИСАХАРИДЫ

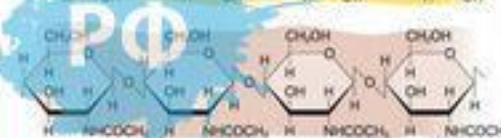
Крахмал
Гликоген



Целлюлоза



Хитин



СТРОИТЕЛЬНАЯ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ

ФУНКЦИИ



Хитин



Целлюлоза



Гликоген



Крахмал

- **Биологическое значение обмена гликогена в печени и мышцах**
- Сравнение этих процессов позволяет сделать следующие выводы:
- синтез и распад гликогена протекают по разным метаболическими путям;
- печень запасает глюкозу в виде гликогена не столько для собственных нужд, сколько для поддержания постоянной концентрации глюкозы в крови, и, следовательно, обеспечивает поступление глюкозы в другие ткани. Присутствие в печени глюкозо-6-фосфатазы обуславливает эту главную функцию печени в обмене гликогена;
- функция мышечного гликогена заключается в освобождении глюкозо-6-фосфата, потребляемого в самой мышце для окисления и использования энергии;
- синтез гликогена — процесс эндергонический. Так на включение одного остатка глюкозы в полисахаридную цепь используется 1 моль АТФ и 1 моль УТФ;
- распад гликогена до глюкозо-6-фосфата не требует энергии;
- необратимость процессов синтеза и распада гликогена обеспечивается их регуляцией.

- ▣ **Характеристика гормонов, регулирующих обмен гликогена**
- ▣ *Дополнительные сведения:* инсулин
- ▣ Первичным сигналом для синтеза и секреции инсулина и глюкагона является изменение уровня глюкозы в крови. В норме концентрация глюкозы в крови соответствует 3,3-5,5 ммоль/л (60- 100 мг/дл).
- ▣ Инсулин — белковый гормон, синтезируется и секретируется в кровь β-клетками островков Лангерганса поджелудочной железы, β-клетки чувствительны к изменениям содержания глюкозы в крови и секретируют инсулин в ответ на повышение её содержания после приёма пищи. Транспортный белок (ГЛЮТ-2), обеспечивающий поступление глюкозы в β-клетки, отличается низким сродством к ней. Следовательно, этот белок транспортирует глюкозу в клетку поджелудочной железы лишь после того, как её содержание в крови будет выше нормального уровня (более 5,5 ммоль/л).
- ▣ В β-клетках глюкоза фосфорилируется глюкокиназой, имеющей также высокую K_m для глюкозы — 12 ммоль/л. Скорость фосфорилирования глюкозы глюкокиназой в β-клетках прямо пропорциональна её концентрации в крови.
- ▣ Синтез инсулина регулируется глюкозой. Глюкоза (или её метаболиты), по-видимому, непосредственно участвуют в регуляции экспрессии гена инсулина. Секреция инсулина и глюкагона также регулируется глюкозой, которая стимулирует секрецию инсулина из β-клеток и подавляет секрецию глюкагона из α-клеток. Кроме того, сам инсулин снижает секрецию глюкагона.
- ▣ Глюкагон — «гормон голода», вырабатываемый α-клетками поджелудочной железы в ответ на снижение уровня глюкозы в крови. По химической природе глюкагон — пептид.
- ▣ Адреналин выделяется из клеток мозгового вещества надпочечников в ответ на сигналы нервной системы, идущие из мозга при возникновении экстремальных ситуаций (например, бегство или борьба), требующих внезапной мышечной деятельности. Адреналин является сигналом «тревоги». Он должен мгновенно обеспечить мышцы и мозг источником энергии.

■ Анаэробный гликолиз

- В анаэробном процессе, не нуждающемся в митохондриальной дыхательной цепи, **АТФ** образуется за счет двух реакций субстратного фосфорилирования.
- При анаэробном **гликолизе** в **цитозоле** протекают все 10 реакций, идентичных аэробному гликолизу. Лишь 11-я реакция, где происходит восстановление пирувата цитозольным НАДН, является специфической для анаэробного гликолиза. Восстановление пирувата в лактат катализирует **лактатдегидрогеназа** (реакция обратимая, и фермент назван по обратной реакции). С помощью этой реакции обеспечивается регенерация НАД^+ из НАДН без участия митохондриальной дыхательной цепи в ситуациях, связанных с недостаточным снабжением клеток **кислородом**. Роль акцептора **водорода** от НАДН (подобно кислороду в дыхательной цепи) выполняет пируват. Таким образом, значение реакции восстановления **пирувата** заключается не в образовании лактата, а в том, что данная цитозольная реакция обеспечивает регенерацию НАД^+ . К тому же **лактат** не является конечным продуктом **метаболизма**, удаляемым из организма. Это вещество выводится в кровь и утилизируется, превращаясь в печени в **глюкозу**, или при доступности кислорода превращается в пируват, который вступает в общий путь **катаболизма**, окисляясь до CO_2 и H_2O .

□ **Аэробный гликолиз**

- Аэробным гликолизом называют процесс окисления глюкозы до пировиноградной кислоты, протекающий в присутствии кислорода. Все ферменты, катализирующие реакции этого процесса, локализованы в цитозоле клетки.
- Аэробный гликолиз — основной путь для образования энергии в клетках организма. Он может протекать как прямым (апотомическим, или, как его называют пентозофосфатным), так и непрямым (дихотомическим) путём. В результате непрямого окисления глюкоза полностью распадается на углекислый газ и воду, и при этом выделяется большое количество энергии (2870 кДж/моль)
- В аэробном гликолизе можно выделить 2 этапа:
- Подготовительный этап, в ходе которого глюкоза фосфорилируется и расщепляется на две молекулы фосфотриоз. Эта серия реакций протекает с использованием 2 молекул АТФ.
- Этап, сопряжённый с синтезом АТФ. В результате этой серии реакций фосфотриозы превращаются в пируват. Энергия, высвобождающаяся на этом этапе, используется для синтеза 10 моль АТФ.

Этапы аэробного распада глюкозы	Количество использованного АТФ, моль	Количество синтезированного АТФ, моль
I. Аэробный гликолиз		
Глюкоза → 2 Пируват	-2	+10
II. Окислительное декарбоксилирование пирувата	-	
2 (Пируват → <u>Ацетил-КоА</u>)		+6
III. Цитратный цикл		
2 (Ацетил-КоА → CO ₂ + H ₂ O)		+24
Суммарный выход АТФ при окислении 1 моль глюкозы		+38