

УДК 54.7642

БИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ РАСЩЕПЛЕНИЯ УГЛЕВОДОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Наумович Ю.И., Тлехусеж М.А.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар,
e-mail: naumovich16012000@mail.ru

Все знают о пользе, а теперь уже и о вреде, углеводов. Но как происходит усвоение их организмом, какие процессы протекают при расщеплении углеводов в организме человека и как происходит выделение той самой энергии, которая так нужна для нашей жизни? Мы рассмотрим один из биохимических процессов – процесс выделения и поглощения энергии из углеводов. Исторически этот процесс получил название брожения. Актуальность биохимических исследований обусловлена выживанием и комфортом человека в природе: это лекарства, продукты питания, красители, и т.д. Задачей настоящей работы являлось изучение литературных данных о природе углеводов, их роли в жизни человека, изучение химизма расщепления углеводов с целью понимания процессов энергетического обмена, происходящих в клетках живых организмов и человека.

Ключевые слова: расщепление углеводов, ферменты, гликолиз

BIOCHEMICAL REACTIONS OF CARBOHYDRATE DIVIDING IN HUMAN BODY

Naumovich J.I., Tlekhusezh M.A.

Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: naumovich16012000@mail.ru

Everyone knows about the benefits, and now about the dangers of carbohydrates. But how does the body absorb them, what processes occur during the splitting of carbohydrates in the human body, and how does the release of the very energy that is so necessary for our life occur? We will consider one of the biochemical processes – the process of separation and absorption of energy from carbohydrates. Historically, this process has been called fermentation. The relevance of biochemical research is due to the survival and comfort of humans in nature: these are medicine, food, dyes, etc. The purpose of this work was to study the literature data on the nature of carbohydrates, their role in human life, the study of the chemistry of the splitting of carbohydrates in order to understand the energy metabolism occurring in the cells of living organisms and humans.

Keywords: splitting of carbohydrates, enzymes, glycolysis

Все биологические процессы, происходящие в окружающем мире, по своей сути являются химическими реакциями. Первую химическую реакцию человек осуществил, когда разжег костер – это реакция горения. Первое антибактериальное применение продуктов брожения и величайшее открытие в области медицины совершил Нострадамус. Большинство из нас знает его как предсказателя, но его основная заслуга состоит в том, что он нашел способ борьбы с чумой с помощью уксусной кислоты. История свидетельствует, чума лишила Нострадамуса и первой семьи, и друзей. С тех пор он искал средство борьбы от страшной болезни. Найдя чудо-лекарство, исследователь переезжал из города в город, где появлялась чума, спасая множество жизней [1].

Первым биохимиком была клетка, которая научилась энергетическому обмену: научилась поглощать свет и выделять энергию, необходимую для жизнеобеспечения. Таким образом, первый биохимик – это и есть сама жизнь. Все процессы, которые протекают в клетках живого организма, – это биохимические реакции.

Углеводы

Название «углеводы» появилось из-за того, что многие представители данного класса имеют общую формулу: $C_n(H_2O)_m$, где n и $m \geq 4$. Известно множество углеводов, не соответствующих этой формуле, но несмотря на это термин «углеводы» употребляется и по сей день. Другое общепринятое название этого класса соединений – *сахара*.

Все углеводы можно разделить на четыре больших класса.

Моносахариды – это гетерофункциональные соединения, содержащие оксогруппу и несколько гидроксильных групп. Они не могут быть гидролизваны до более простых форм углеводов и являются структурной единицей любых углеводов, например, глюкоза, фруктоза, рибулоза, рамноза. Содержатся в различных продуктах: фрукты, мёд, некоторые виды вина, шоколад.

Олигосахариды – это соединения, построенные из нескольких остатков моносахаридов, связанных между собой гликозидной связью. Они делятся по числу моносахаридов в молекуле на дисахариды, трисахариды и т.д. К биологически активным производным олигосахаридов отно-

сятся некоторые антибиотики, сердечные гликозиды.

Дисахариды – это углеводы, которые при гидролизе дают две одинаковые или различные молекулы моносахарида и связаны между собой гликозидной связью, например, лактоза, сахароза, мальтоза. При гидролизе из дисахаридов образуется глюкоза.

Полисахариды – имеют общий принцип строения с олигосахаридами, за исключением моносахаридных остатков – полисахариды могут содержать их сотни и даже тысячи. Примеры: крахмал, гликоген, хитин, целлюлоза [2].

Для лучшего понимания реакций расщепления углеводов в организме, рассмотрим более подробно глюкозу, участвующую в этих процессах.

Глюкоза

Глюкоза является одним из самых распространенных углеводов в природе, моносахарид, или гексоза $C_6H_{12}O_6$. Второе её название – виноградный сахар. Это растворимое в воде вещество белого цвета, сладкое на вкус. В молекуле глюкозы имеется четыре неравноценных асимметрических атома углерода (рис. 1):

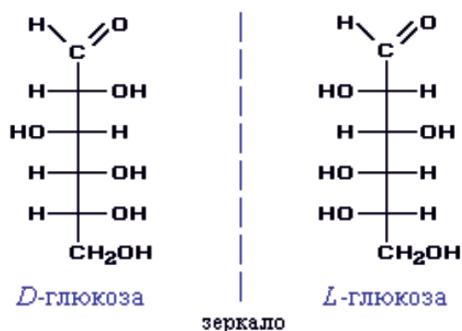


Рис. 1. Структура молекулы глюкозы

Для такого соединения возможно $2^4 = 16$ стереоизомеров, которые образуют 8 пар зеркальных оптических антиподов. Каждое из восьми соединений представляет собой диастереомер (диа – двойной) с присущими только ему физическими свойствами (растворимость, температура плавления и т.д.).

Глюкоза содержится в растительных и живых организмах. Велико её содержание в виноградном соке, в мёде, фруктах и ягодах, в семенах, листьях крапивы. Глюкоза повышает работоспособность мозга, благотворно влияет на нервную систему человека. Именно поэтому в стрессовых ситуациях люди иногда хотят чего-нибудь сладкого. Помимо этого, глюкоза применяется в меди-

цине для приготовления лечебных препаратов, консервирования крови, внутривенного вливания и т.д. Она широко применяется в кондитерском производстве, производстве зеркал и игрушек (серебрение). Её используют при окраске тканей и кож.

Биохимические реакции расщепления углеводов в организме человека

Для поддержания жизнедеятельности организма используется энергия, скрытая в химических связях продуктов питания. Во многих продуктах питания содержится значительное количество углеводов в виде полисахаридов (сахар, крахмал, клетчатка) и моноз (глюкоза, фруктоза, лактоза и др.). К примеру, в картофеле содержание крахмала составляет до 16%, в рисе – 78%, а в белом хлебе – 51%.

Уже во рту человека начинается процесс расщепления углеводов. Происходит гидролиз крахмала под действием биологического катализатора – фермента амилазы, который содержится в слюне. Под действием амилазы молекула крахмала расщепляется на довольно короткие цепочки, которые состоят из глюкозных звеньев. После этого углеводы попадают в желудок. Далее под действием желудочного сока заканчивается кислотный гидролиз крахмала. Крахмал распадается до отдельных глюкозных звеньев. Глюкоза попадает в кишечник и через стенки кишок поступает в кровь, разносящую её по всему человеческому организму.

Содержание глюкозы в крови поддерживается на постоянном уровне при помощи гормона инсулина, который выделяется поджелудочной железой. Инсулин полимеризует избыточную глюкозу в животный крахмал – гликоген, который откладывается в печени. Часть гликогена в печени может гидролизироваться в глюкозу, далее поступающую обратно в кровь. Это происходит при понижении содержания глюкозы в крови. Если поджелудочная железа не может вырабатывать инсулин, содержание глюкозы в крови повышается, что приводит к диабету. Именно поэтому людям, болеющим сахарным диабетом, необходимо регулярно вводить в кровь инсулин.

Молекула глюкозы, попадая в клетку организма, окисляется, «сгорает» с образованием воды и диоксида углерода. При этом выделяется энергия, необходимая организму для движения, согревания, осуществления различных физических нагрузок и т.д. Но биологическое окисление глюкозы по-

емой при окислении энергии превращается на каждой стадии данного процесса в тепло. Значительная доля энергии, заключенной в химических связях глюкозы, расходуется на образование других веществ, из которых важнейшее в биоэнергетике – аденозинтрифосфорная кислота $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$ (АТФ). Это соединение состоит из трех частей – гетероцикла аденина, рибозы (сахара) и трех остатков фосфорной кислоты, образующей с рибозой сложный эфир (рис.2).

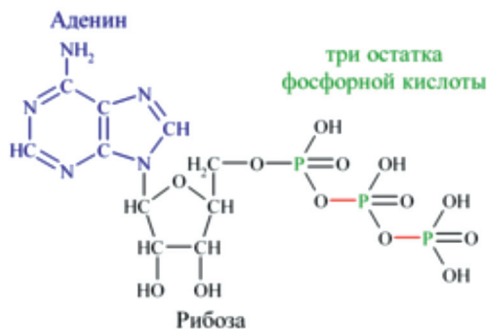


Рис. 2. Структура аденозинтрифосфорной кислоты

АТФ в клетках – универсальная энергетическая валюта. Множество ферментов умеют вести химические реакции, осуществляющиеся с затратой энергии, за счет гидролитического отщепления одного или двух остатков фосфорной кислоты от молекулы АТФ (этот процесс сопровождается выделением энергии), или наоборот, умеют использовать энергию, которая высвобождается в реакциях с выделением энергии для того, чтобы АТФ образовалась. Расщепляя АТФ, клетка использует высвобождаемую энергию на биосинтез различных соединений, а окисляя углеводы – синтезирует АТФ.

Первая стадия «сгорания» глюкозы в клетке – взаимодействие глюкозы с АТФ (рис. 3). При этом АТФ переходит в АДФ (аденозиндифосфат $C_{10}H_{15}N_5O_{10}P_2$), а глюкоза – в 6-фосфат. Этот процесс фосфорилирования происходит под действием фермента гексокиназы за счет перенос остатка фосфорной кислоты (H_3PO_4) от фосфорилирующего агента – донора к субстрату:

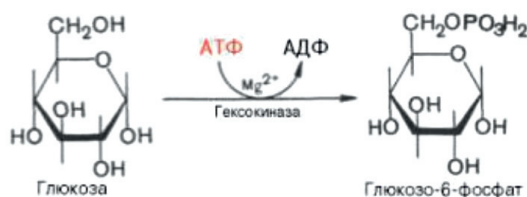


Рис. 3. Взаимодействие глюкозы с АТФ

Следующий этап окисления – «рокировка» глюкозофосфата во фруктозофосфат, который происходит под действием фермента изомеразы (рис.4). Рокровка типа глюкоза–фруктоза делает доступным для фосфорилирования еще один гидроксил сахара (т.к. взаимодействовать с АТФ могут только краевые гидроксилы):

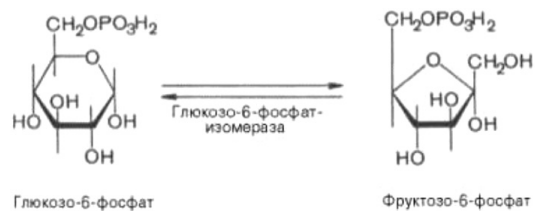


Рис. 4. Взаимодействие глюкозо-6-фосфата и фермента изомеразы

После второго фосфорилирования уже под действием другого фермента – фосфорфруктокиназы – получается в итоге фруктозо-1,6-дифосфат ($C_6H_{14}O_{12}P_2$) (рис.5):

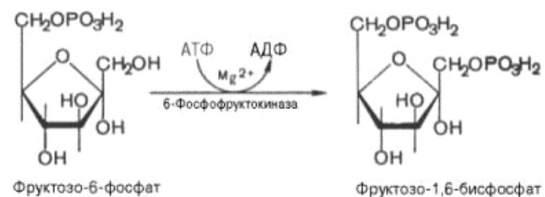


Рис. 5. Взаимодействие фруктозо-6-фосфата и 6-фосфорфруктокиназы

Фруктозо-1,6-дифосфат распадается на две части. Получается дигидроксиацетонфосфат ($C_3H_7O_6P$) и глицеральдегид-3-фосфат ($C_3H_7O_6P$) (рис. 6).

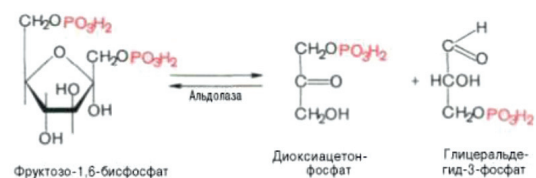


Рис. 6. Распад Фруктозо-1,6-дифосфата

Клетке нужен только второй продукт, и она с помощью фермента изомеразы превращает первый фосфат во второй (чтобы не было отходов производства) (рис. 7).



Рис. 7. Превращение диоксиацетон-фосфата в глицеральдегид-3-фосфат

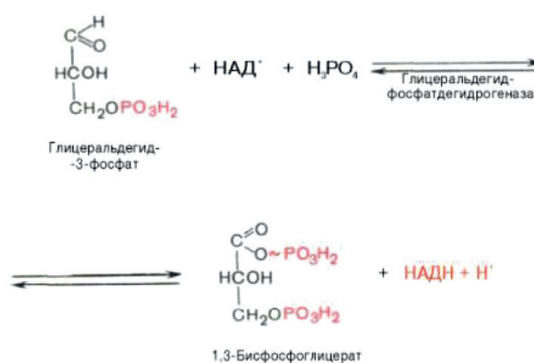


Рис. 8. Превращение глицеральдегид-3-фосфата в смешанный ангидрид 3-фосфоглицериновой и фосфорной кислот

На данной стадии в реакцию вступают два соединения: глутатион – соединение, несущее меркаптогруппу SH и никотинамидденинуклеотид (НАД). НАД легко присоединяет водород: НАД-Н₂.

Далее развивается процесс, мало изученный в деталях, но описать его можно пока следующим образом. Под действием НАД и его восстановленной формы, фермента дегидрогеназы и фосфорной кислоты, глицеральдегид-3-фосфат превращается в смешанный ангидрид 3-фосфоглицериновой и фосфорной кислот (рис. 8).

Всё это время энергия только поглощалась, так как АТФ переходил в АДФ. Теперь в реакции будет вступать АДФ, а в продуктах появится АТФ, и энергия будет выделяться. Так, под действием АДФ и фермента фосфоглицераткиназы образуется 3-фосфоглицериновая кислота (рис. 9).

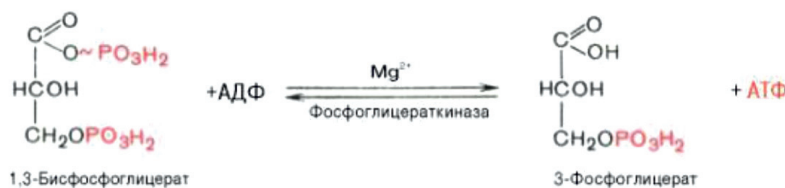


Рис. 9. Образование 3-фосфоглицерата

В ней фермент фосфоглицеромутаза вызывает «рокировку» фосфатной группы в положение 2 (рис. 10).



Рис. 10. Превращение 3-фосфоглицерата в 2-фосфоглицерат

На полученный продукт воздействует фермент енолаза и АДФ – получается *пировиноградная кислота* (рис. 11, 12).

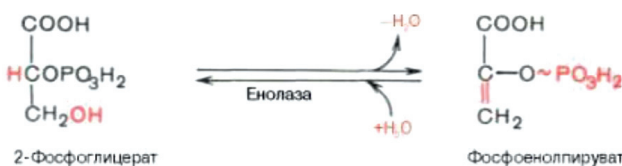


Рис. 11. Дегидратация 2-фосфоглицерата

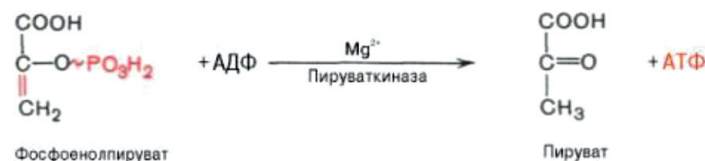


Рис. 12. Перенос фосфорильной группы с фосфоенолпирувата на АДФ. Образование пирувата

Процесс превращения глюкозы в пировиноградную кислоту в клетке называется *гликолизом* [3]. В результате гликолиза клетка получает из одной молекулы глюкозы восемь молекул АТФ и две молекулы пировиноградной кислоты. Превращение глюкозы в пировиноградную кислоту является первой стадией, общей для нескольких процессов. То же самое происходит под действием дрожжей на раствор сахара. Но реакция не заканчивается получением пировиноградной кислоты. От этой кислоты отщепляется (под действием фермента декарбоксилазы) молекула диоксида углерода и образуется уксусный альдегид, который, в свою очередь, атакуется ферментом дегидрогеназой и НАД-Н₂. В результате при отсутствии кислорода получается этиловый спирт.

На самом деле уравнение этого сложного процесса выглядит довольно просто:



Это и есть *процесс брожения*. В мышцах НАД-Н₂ восстанавливает пировиноградную кислоту в молочную. Это происходит при большой нагрузке, когда кровь не успевает подводить кислород в нужном количестве. Поэтому у спортсменов, пробежавших дистанцию, резко увеличивается в крови количество молочной кислоты [4].

Ферменты

Ферменты – это биологические катализаторы, имеющие белковую природу, помогающие ускорить химические реакции как в живых организмах, так и вне их. Ферменты обладают высокой каталитической активностью. К примеру, чтобы расщепить молекулу полиуглевода (крахмал, целлюлозу) или какой – либо белок на составные части, их нужно несколько часов кипятить с крепкими растворами щелочей либо кислот. А ферменты пищеварительных соков (пепсин, протеаза, амилаза) способны гидролизовать эти вещества буквально за несколько секунд при температуре 37°C. Помимо этого, ферменты обладают избирательностью своего действия в отношении структуры субстрата, условий проведения реакции и её типа (фермент превращает только данный тип субстратов в опре-

деленных реакциях и условиях). Ферменты катализируют огромное количество реакций, протекающих в живой клетке при размножении, дыхании, обмене веществ и т.д. [5].

Заключение

В современном понимании биохимическое расщепление углеводов – это метаболический процесс, при котором регенерируется АТФ, а продукты расщепления органического субстрата могут служить одновременно и донорами, и акцепторами водорода. Огромную роль в биохимических процессах играют микроорганизмы, ферменты и катализаторы. Считается, что анаэробный гликолиз (расщепление углеводов) был первым источником энергии для общих предков всех живых организмов до того, как концентрация кислорода в атмосфере стала достаточно высокой, и поэтому эта форма генерации энергии в клетках – более древняя. За очень редкими исключениями она существует и у всех ныне живущих клеток.

В настоящее время ученые считают, что все реакции биохимического расщепления углеводов на начальной стадии имеют общую схему вплоть до образования пировиноградной кислоты. Затем, в зависимости от условий и качества ферментов, из пировиноградной кислоты образуются конечные продукты реакции: спирты, кислоты (уксусная, лимонная, молочная, яблочная, масляная и т.д.), альдегиды, углекислый газ, водород, вода и пр.

Изучение биохимических реакций расщепления углеводов в организме человека и анализ использованных источников позволили сделать следующие выводы:

1. В общем виде схему механизма расщепления углеводов можно представить следующим образом: сложный углевод (дисахарид, полисахарид) → глюкоза → эфиры фосфорных кислот → глицериновый альдегид → глицериновая кислота → пировиноградная кислота → далее возможны любые упомянутые выше направления.

2. Биохимические реакции углеводов лежат в основе жизнедеятельности клеток живых организмов, в том числе и человека.

3. Биохимические процессы расщепления углеводов, которые изображаются про-

стыми, на первый взгляд, уравнениями начальных и конечных продуктов, на самом деле представляют собой сложные и многоступенчатые процессы.

4. Для осуществления биохимических процессов необходимы ферменты и катализаторы, которые ускоряют реакции расщепления углеводов в тысячи раз.

Изучая сложнейшие процессы, происходящие в живой клетке, ученые задумываются: а нельзя ли, научившись у природы, провести в колбах и ретортах искусственные химические процессы, копирующие биохимические реакции? Начатые по инициативе академика Н.Н. Семенова, такие исследования в области «химической бионики» успешно ведутся в России и во всем мире [6].

Список литературы

1. Нострадамус. Биография. Карьера врача. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нострадамус> (дата обращения: 20.12.2018).
2. Углеводы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kak.znate.ru/docs/index-43767.html> (дата обращения: 19.12.2018).
3. ХиМиК. Гликолиз. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/biologhim/145.html> (дата обращения: 21.12.2018).
4. Химия. Раздел: Спирт из сахара и сахар из воздуха. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://djht.ru/19organichescaa/24.html> (дата обращения: 09.12.2018).
5. Шеховцева Т.Н. Ферменты: их использование в химическом анализе // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 1. С. 44–48.
6. Московченко Н.Я., Савина Г.А. Ходатайство о награждении Н.Н. Семенова орденом Ленина // Физики о себе. Л.: Наука, 1990. С. 89.