

СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ГИДРАТАХ УГЛЕРОДА: ИНТЕГРАТИВНЫЙ ОБЗОР

А.Б. МИРОШНИКОВ, А.Д. ФОРМЕНОВ, А.В. СМОЛЕНСКИЙ

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма (ГЦОЛИФК)» (РГУФКСМиТ),
Сиреневый бульвар, д.4, г. Москва, 105122, Россия, e-mail: benedikt116@mail.ru

Аннотация. Поскольку распространенность диабета 2 типа среди населения связывают с увеличением потребления сахара, мы в своем обзоре предпринимаем попытку изучить известные классификации углеводов на предмет применимости их в современной диетологии и нутрициологии. **Цель исследования** – проанализировать мировую научную литературу на предмет способности с точки зрения диетологии классифицировать углеводы по физиологическому воздействию на здоровье человека. **Материалы и методы исследования.** Поиск рандомизированных контролируемых исследований и мета-анализов для обзора по данной проблеме был проведен в поисковых системах: MEDLINE (PubMed), EMBASE, CINAHL, Web of Science и Cochrane. **Результаты и их обсуждение.** В результате обзора выделено семь основных классификаций углеводов: химическая классификация, химико-физиологическая классификация, классификация по гликемическому индексу, классификация природных крахмалов, классификация по постпрандиальным эффектам, классификация по качеству углеводов, классификация по энергетической ценности углеводов. **Заключение.** Использование химической классификации углеводов в диетологии привело к смещению процентного соотношения между нутриентами в сторону рекомендованного увеличения количества потребляемых углеводов для сбалансированного рациона питания. В самых последних клинических рекомендациях по диетотерапии при диабете и сердечно-сосудистых заболеваниях уже используется подход с акцентами на отдельные макронутриенты. Возможно, настало время сместить внимание с макронутриентов, на продукты с большой и малой энергетической ценностью и разработать простые классификации.

Ключевые слова: углеводы, диетология, классификация углеводов, нутрициология, диабет 2 типа.

MODERN CONCEPT OF CARBON HYDRATES: INTEGRATIVE REVIEW

A.B. MIROSHNIKOV, A.D. FORMENOV, A.V. SMOLENSKY

State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism (GTsOLIFK)" of the Ministry of Sports of the Russian Federation, Sirenevy Boulevard, 4, Moscow, 105122, Russia, e-mail: benedikt116@mail.ru*

Abstract. Since the prevalence of diabetes type 2 in the population is associated with an increase in sugar intake, in our review we attempt to examine the known classifications of carbohydrates for their applicability in modern dietetics and nutritionology. **The research purpose** is analyze the world scientific literature for the ability, from a nutritional point of view, to classify carbohydrates according to their physiological effects on human health. **Materials and methods.** A search for randomized controlled trials and meta-analyzes to review this issue was conducted in search engines: MEDLINE (PubMed), EMBASE, CINAHL, Web of Science, and Cochrane. **Results.** As a result of the review, seven main classifications of carbohydrates were identified: chemical classification, chemical and physiological classification, classification by the glycemic index, classification of natural starches, classification by postprandial effects, classification by the quality of carbohydrates, and classification by the energy value of carbohydrates. **Conclusion.** The use of chemical classification of carbohydrates in dietetics has led to a shift in the percentage ratio between nutrients towards the recommended increase in the amount of carbohydrates consumed for a balanced diet. The most recent clinical guidelines for dietary management for diabetes and cardiovascular disease are already using a macronutrient-specific approach. It may be time to shift the focus away from macronutrients to high and low energy foods and develop simple classifications.

Keywords: carbohydrates, dietetics, carbohydrate classification, nutritional science, type 2 diabetes.

Введение. Сахар в его многочисленных формах является существенной составляющей всей биологической жизни от конструкции нуклеиновых кислот (например, ДНК) до структуры организма (например, целлюлоза) и клеточного дыхания (например, метаболического топлива). Почти все бактерии, растения, животные, не относящиеся к человеку, и сам человек, могут метаболизировать простой сахар (гексазомоносахарид), и почти все биологические экосистемы зависят от фотосинтеза, который превращает солнечный свет в сахар. Таким образом, сахара и сахар-полимеры являются наиболее важными ор-

ганическими соединениями на Земле [4]. Несколько десятилетий не утихает полемика в научном мире о пользе и вреде основных макронутриентов, однако именно углеводам отводится особое внимание в этой области. Например, в 1907 году, сэр Ричард Хавелок Чарльз, британский врач, дислоцированный в Индии, сделал тревожное замечание о том, что диабет 2 типа быстро растет среди богатых бенгальских индейцев, живущих в Калькутте, и он связал это с увеличением потребления сахара (сахарозы) [17]. В 1924 году комиссар по вопросам общественного здравоохранения Нью-Йорка Хейвен Эмерсон, также был обеспокоен 10-кратным ростом диабета, который поразил 1 из 10.000 человек по результатам эпидемиологического исследования Эмерсон и Ларимор, в котором также обнаружилась сильная связь рафинированного сахара с диабетом [23]. Другие мировые эксперты, в том числе лауреат Нобелевской премии, сэр Фредерик Бантинг, также предположили, что рафинированный сахар может быть основной причиной диабета [9]. С тех пор предпринимаются попытки классифицировать, как углеводы, так и продукты, содержащие их на предмет полезности и безопасности для человеческого организма.

Химическая классификация углеводов. Углеводы понятие собирательное, например, в диетологии, принято сахара классифицировать по характеристикам их молекулярного состава. Данная классификация включает отдельные мономеры (моносахариды) и количество связей. Например, сахароза состоит из двух мономеров, глюкозы и фруктозы, которые связаны гликозидной связью *α-1,2*, имеющую степень полимеризации (*Degree of Polymerisation – DP 1-2*). Химическая классификация углеводов, которую обычно используют диетологи и органы питания [17], выглядит следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Химическая классификация углеводов

Классификация	Подгруппа	Примеры
Сахара (<i>DP 1-2</i>)	Моносахариды Дисахариды Сахарные спирты/ полиолы	Глюкоза, фруктоза Сахароза, лактоза Сорбит, ксилит
Олигосахариды (<i>DP 3-9</i>)	Мальтодекстрины (мальтоолигосахариды) Неперевариваемые олигосахариды Крахмал	Глюкоолигосахариды мальтозы Рафиноза, стахиоза Амилоза, амилопектин
Полисахариды (<i>DP > 9</i>)	Некрахмальные полисахариды Устойчивый крахмал	Пектин, целлюлоза <i>RS</i> типа 1, 2, 3 и 4

Примечание: *DP – Degree of Polymerisation; RS – Resistant Starch*

С химической точки зрения, классификация выглядит достаточно понятной, однако с точки зрения диетологии (то есть как воздействует каждый углевод на здоровье человека) остаются большие вопросы. Например, какие углеводы будет содержать тот или иной сорт меда зависит от ботанического и географического его происхождения (виды цветов, используемых пчелами), а также зависит от климата, обработки и хранения [26]. Практически во всех типах меда фруктоза является углеводом в наибольшей доле, за исключением некоторых видов меда, таких как рапс (*Brassica napus*) и одуванчик (*Taraxacum officinale*), в которых доля глюкозы может быть выше, чем доля фруктозы, и, следовательно, эти виды меда, как правило, имеют быструю кристаллизацию и высокий гликемический индекс [30]. Если разбирать какие углеводы входят в состав меда, то обычно это: фруктоза, глюкоза, сахароза, рамноза, трегалоза, нигеробиоза, изомальтоза, мальтоза, мальтотетраоза, мальтотриоза, мальтулоза, мелезитоза, мелибиоза, нигероза, палатиноза, раффиноза, эрлоза и другие [21]. Соответственно не только концентрация данных углеводов, но и их взаимодействие между собой может по-разному влиять на здоровье человека. Поскольку любая индивидуальная характеристика данного углевода может влиять на его физиологические свойства, ее следует рассматривать в контексте всех других характеристик (таких как: скорость всасывания, реакция инсулина, способность преобразовываться в жирные кислоты и проч.). По этой причине необходимо признать, что рассмотрение одной конкретной характеристики углеводов (например, степени полимеризации) почти всегда приводит к иному выводу о потенциальных последствиях для здоровья человека, чем рассмотрение с «общей» точки зрения конкретных продуктов. В табл. 2 приведены примеры углеводов, а также некоторые выбранные характеристики переваривания (всасывания) и метаболических путей.

Химические и физиологические характеристики сахаров и продуктов

Название углеводов	Метаболический путь	ГИ
Глюкоза	Используется в качестве топлива, хранится в виде гликогена и/или превращается в другие метаболиты	100
Фруктоза	Частично превращается в лактат и глюкозу, используется в качестве топлива или хранится в виде гликогена или липидов	19
Сахароза	См. глюкозу и фруктозу выше	65
Изомальтулоза	См. глюкозу и фруктозу выше	32
Галактоза	Превращение в печени в глюкозу, см. судьбу глюкозы выше	25
Лактоза	См. судьбу глюкозы и галактозы выше	45
Мед	См. глюкозу и фруктозу выше	50
Кленовый сироп	См. глюкозу и фруктозу выше	54
Крахмалы	См. глюкозу выше	40-110
Мальтодекстрины	См. глюкозу выше	110
Мальтоза	См. глюкозу выше	105
Трегалоза	См. глюкозу выше	70
Сорбитол	Превращение печени во фруктозу и глюкозу	4

Примечание: ГИ – гликемический индекс

Чтобы объяснить, как углеводы с аналогичным мономерным составом могут различаться по степени переваривания и всасывания, мы приведем два примера.

Пример № 1: сахароза и изомальтулоза. Дисахариды сахароза и изомальтулоза состоят из двух мономеров глюкозы и фруктозы. Однако связь между двумя мономерами различается. Сахароза имеет связь *α-1,2*, тогда как изомальтулоза имеет связь *α-1,6*. Из-за более стабильной гликозидной связи *α-1,6* гидролиз дисахаридазами тонкого кишечника происходит медленно. В гомогенатах слизистой оболочки тонкой кишки человека скорость гидролиза изомальтулозы составляла 26-45% по сравнению с сахарозой [37]. Результатом является более низкий гликемический и инсулинемический ответ [48].

Пример № 2: амилоза и амилопектиновый крахмал. Можно задаться вопросом, почему наряду с сахарами обсуждается пример крахмала амилозы и амилопектина. Причина включения примера крахмала заключается в том, что сахара (мономеры) будут конечным продуктом для клеток кишечника. В свете общепринятого биохимического определения, что все сахара являются углеводами с *DP 1-2*, не всегда становится ясно, как «мономеры», и «крахмал» поставляют «сахар» в клетки кишечника для всасывания. Однако, при пристальном рассмотрении этого вопроса становится понятно данное явление, так как для расщепления крахмала (например, амилопектина) до глюкозы требуется два вещества, это: 1) вода; 2) фермент: амилаза или декстриназа. С точки зрения метаболических реакций, особенно при сравнении «сахаров» с «крахмалами», хорошо иметь четкое сравнительное представление, что растительный крахмал обычно содержит 20-30% по массе амилозы и 70-80% по массе амилопектина [11]. Интересно, что, несмотря на лишь небольшие различия в содержании амилозы, гидролиз крахмала показывает, что пшеничный крахмал быстрее усваивается, чем картофельный (будучи наиболее устойчивым крахмалом), причем кукурузный и гороховый крахмалы имеют промежуточные значения [38]. Соответственно более логично, в диетологии, классифицировать углеводы не по степени полимеризации, а по степени усвояемости. Например, быстроусвояемые (доступные) углеводы, медленно усваиваемые (доступные) и неперевариваемые (недоступные) углеводы или пищевые волокна [24]. Если перевариваемый и резистентный крахмал являются полисахаридами, состоящими из мономеров глюкозы, и оба присутствуют в крахмалистых продуктах, то они сильно будут влиять на биодоступность сахаров. В результате существует широкий диапазон значений *гликемического индекса* (ГИ) для различных сортов риса, зерновых, картофеля и производных продуктов, от относительно низких до высоких значений [6]. По этой причине невозможно установить общий показатель ГИ для крахмалистых продуктов.

Классификация углеводов по гликемическому индексу. Углеводы способны повышать уровень глюкозы в крови и это свойство часто выражается через ГИ. Высокое значение ГИ относится к сильному повышению уровня глюкозы в крови после приема углеводистой пищи и часто рассматривается в диетологии как менее здоровое питание, тогда как низкое значение ГИ употребляемых продуктов часто рассматривается как полезное для здоровья человека. Важно понимать, что значение ГИ, рассматриваемое в отдельности, не может полностью объяснить физиологическое воздействие продуктов питания на здоровье и болезни человека. Например, прием 5 граммов глюкозы не вызовет измеримой гипергликемии, несмотря на его высокое значение ГИ, равное 100. Однако прием внутрь 50 граммов глюкозы в крови по-

высит ее очень значительно. Таким образом, любое значение ГИ следует интерпретировать в свете потребляемого количества углеводистой пищи. Возможно, поэтому мета-анализы не находят связи потребления сахаров с весом тела [40, 47] и метаболическими заболеваниями [33], так как не конкретный сахар влияет на здоровье человека или его ГИ, а именно потребляемое количество. Более того, энергетические затраты, также играют важную роль в том, как человеческий организм управляет метаболизмом сахаридов. Например, элитные спортсмены циклических видов спорта, такие как профессиональные велосипедисты, потребляют большое количество рафинированных углеводов. Однако они не набирают лишнего веса, даже если потребляют более 6500 ккал/день в течение 21 дня [41]. Поэтому логично предположить, что разные подгруппы населения будут по-разному реагировать на количество и вид потребляемых углеводов [20]. Кроме того, необходимо отметить, что на значение ГИ любой углеводистой пищи, сильно влияют другие факторы, например, содержание ингибиторов ферментов (например, ингибиторов *α-амилазы*), общий состав макроэлементов (количество и тип углеводов, жира, белка), содержание и характеристики пищевых волокон (например, растворимые, вязкие, нерастворимые), уровень обработки (например, уровень очистки, такой как отделение отрубей и зародышей во время помолки, что приводит к «очищенной» белой муке), а также матричные эффекты (например, жидкость по сравнению с твердыми продуктами) [11]. Также способ приготовления сильно влияет на ГИ, например, от времени варки картофеля ГИ изменяется от 53 (время варки 8-9 минут), до 101 (время варки 35 минут) [6]. По этой причине важно иметь базовое представление о полном пути метаболизма углевода: тип углеводов → молекулярные характеристики → физиологические аспекты (пищеварение, абсорбция и метаболическая судьба) → влияние на здоровье. Систематические обзоры и мета-анализы *рандомизированных контролируемых исследований* (РКИ) показали, что диеты с низким ГИ приводят к снижению/поддержанию веса и клинически значимым улучшениям гликемического контроля (снижение уровня гликированного гемоглобина на 0,5%), а также улучшение липидов крови и артериального давления по сравнению с диетами с высоким ГИ [18, 27, 50, 52]. Также систематические обзоры и мета-анализы проспективных когортных исследований показали, что диета с низким ГИ связана со снижением заболеваемости диабетом и сердечно-сосудистыми заболеваниями с периодом наблюдения до 25 лет [13, 37, 39, 42, 43, 49].

Классификация углеводов по основным постпрандиальным эффектам. Питательные свойства углеводов зависят от их скорости, степени переваривания и всасывания в тонком кишечнике [54]. Тип потребляемого моносахарида и присутствие других пищевых компонентов, таких как жир, пищевые волокна и белок, также влияют на физиологический, постпрандиальный ответ на углеводы. Только такие моносахариды, как глюкоза, фруктоза и галактоза, могут абсорбироваться через активные мембранные транспортные системы. Дисахариды и полисахариды должны быть расщеплены на их моносахаридные компоненты для абсорбции. Источник крахмала, гранулированная структура, а также степень выделения и переработки являются важными факторами, влияющими на переваривание крахмала. Более того, крахмалы с относительно высоким содержанием амилозы, как правило, более устойчивы к перевариванию, чем крахмалы с более высоким содержанием амилопектина. Учитывая это, крахмал можно разделить на быстроусвояемый крахмал (*Rapidly Digestible Starch – RDS*), медленно усваиваемый крахмал (*Slowly Digestible Starch – SDS*) и устойчивый крахмал (*Resistant Starch – RS*) [25]. *RDS* быстро переваривается и всасывается в двенадцатиперстной кишке и проксимальных отделах тонкой кишки, что приводит к быстрому повышению уровня глюкозы в крови и, как правило, к последующей гипогликемии. Такое быстрое и значительное повышение уровня глюкозы в крови может в дальнейшем привести к повреждению клеток, тканей и органов [12]. *RS* (который также можно разделить на различные типы (табл. 3) не переваривается в верхних отделах желудочно-кишечного тракта, но ферментируется микрофлорой толстой кишки, производя короткоцепочечные жирные кислоты, которые обеспечивают дополнительную энергию для организма, а также бутират, который полезен для здоровья толстой кишки.

SDS медленно переваривается в тонком кишечнике, обеспечивая устойчивое высвобождение глюкозы с низкой начальной гликемией, а затем медленное и продолжительное высвобождение глюкозы, что приводит к более длительной доступности энергии по сравнению с более быстро усваиваемым крахмалом [54]. На основании всасывания углеводов и их основных постпрандиальных эффектов *Aller* и его соавторы [1] предложили соответствующую классификацию (см. рис.).

Классификация природных крахмалов

Тип крахмала	Пример	Пищеварение в тонком кишечнике
<i>RDS</i>	Свежеприготовленные крахмалистые продукты	Быстрое
<i>SDS</i>	Большинство сырых злаков	Медленное
<i>RS</i> Физически неперевариваемый крахмал Гранулы резистентного крахмала Ретроградный крахмал	Частично измельченные зерна и семена Сырой картофель и банан Охлажденный вареный картофель, хлеб и кукурузные хлопья	Не переваривается Не переваривается Не переваривается

Примечание: *RDS* – Rapidly Digestible Starch; *SDS* – Slowly Digestible Starch; *RS* – Resistant Starch



Рис. Классификация углеводов и их основные постпрандиальные эффекты

Классификация углеводов по качеству. В ряде научных источников принято выделять высококачественные пищевые источники углеводов (цельнозерновые, бобовые или фрукты) [46]. Систематические обзоры и мета-анализы РКИ показали, что режимы питания с упором на: бобовые [34, 49], фрукты [19, 32], цельное зерно (овес и ячмень) [32, 45] приводят к снижению/поддержанию веса, а также к улучшению гликемического контроля, липидов крови и артериального давления. Также систематические обзоры и мета-анализы проспективных когортных исследований показали, что высокое потребление цельного зерна (>15 исследований с участием более 400000 человек с последующим наблюдением до 25 лет), зернобобовых (8 исследований, более 200000 человек со сроком наблюдения до 29 лет) и фрукты (>10 исследований, более 500000 человек со сроком наблюдения до 23 лет) связаны со снижением забо-

леваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также заболеваемости диабетом и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний и смертностью от всех причин [7, 39, 42, 50, 51].

Классификация по энергетической ценности углеводов. Калорийность продуктов, которая указывается на современных пищевых этикетках аналогична оригинальному французскому определению калорийности макронутриентов 1825 года. Калория возникла в исследованиях, касающихся эффективности использования топлива для парового двигателя, и была введена в словари в 1840 году. Это была единственная энергетическая единица в английских словарях и Этуотер (*W.O. Atwater*) в 1887 году ввел эту единицу в свои популярные статьи о еде и таблицы составов пищи. С того времени столь хорошо знакомые нам значения калорийности углеводов (4 ккал/г), белков (4 ккал/г) и жиров (9 ккал/г) не изменились [29]. Однако, так как углеводы понятие собирательное было уточнено количество энергии, получаемое из разных углеводов (см. табл. 4) [22].

Таблица 4

Энергетическая ценность углеводов

Тип углеводов	Калорийность (ккал/грамм)
глюкоза	3,72
сахароза	3,94
крахмал	4,18
не крахмальный полисахарид	1,9
резистентный крахмал	2,2
неперевариваемые олигосахариды	1,9 -2,2
неперевариваемые полиолы	1,4-2,4

Так как энергетический баланс и в настоящее время является фундаментальной теорией в исследованиях ожирения [5], то данная классификация представляет большой практический интерес. Для примера, содержание углеводов в вареном картофеле без кожуры 20 г на 100 г, соответственно энергетическая составляющая углеводов будет $20 \times 4 = 80$ ккал. Однако, хорошо известно, что содержание крахмала в картофеле может сильно варьировать. В общих чертах картофель содержит: ~ 20% сухого вещества, из которых 60–80% – крахмал, а 70–80% этого крахмала – амилопектин и 30-20% амилоза [53]. Доля нерастворимых крахмалов составляет ~ 2%, и этот класс гликанов представлен: целлюлозой, гемицеллюлозой, лигнином, пектином и устойчивым крахмалом *RS* [35]. Остальное составляет глюкоза. Согласно классификации по энергетической ценности углеводов, калорийность картофеля составит: доля крахмала $12 \text{ г} \times 4,18 \text{ ккал} = 50,2 \text{ ккал}$ (доля крахмала $16 \text{ г} \times 4,18 \text{ ккал} = 66,9 \text{ ккал}$); доля сахаров $6 \text{ г} \times 3,72 \text{ ккал} = 22,3 \text{ ккал}$ (доля сахаров $2 \text{ г} \times 3,72 \text{ ккал} = 7,4 \text{ ккал}$); доля нерастворимых гликанов $2 \text{ г} \times 2 \text{ ккал} = 4 \text{ ккал}$. Общая калорийность составляет от 76,5 до 78,3 ккал на 100 грамм продукта. Если применить классификацию углеводов по гликемическому индексу, то получится следующее: GI вареного картофеля составляет 78 [6] и это означает, что из 20 г полученных из картофеля углеводов через 2 часа в крови будет обнаружено $20 \times 0,78 = 15,6 \text{ г} \times 3,72 \text{ ккал} = 58 \text{ ккал} + 4 \text{ ккал}$ (2 ккал \times 2 г из нерастворимого волокна, так как, нерастворимые крахмалы переработаются бактериями толстой кишки и всосутся, превратившись в бутират [10]). Итого с учетом классификации углеводов по GI мы получим 62 ккал на 100 грамм продукта. Если учесть, что GI продукта изменяется от времени приготовления, то при времени варки картофеля 8-9 минут его калорийность составит (GI=53): $20 \text{ г} \times 0,53 = 10,6 \text{ г} \times 3,72 \text{ ккал} = 39,4 \text{ ккал} + 4 \text{ ккал}$ (2 ккал \times 2 г из нерастворимого волокна) = 43,4 ккал. Резюме расчетов показывает (табл. 5), что калорийность углеводистого продукта может лежать достаточно в широком диапазоне.

Таблица 5

Сравнительный анализ расчетов калорийности углеводов вареного картофеля

Подходы к расчётам	Калорийность на 100 грамм (ккал)
Традиционный по <i>Atwater</i>	80
С учетом химической классификации и энергетической ценности	76,5-78,3
С учетом классификации по GI и энергетической ценности	62
С учетом классификации по GI, энергетической ценности и времени приготовления	43,4

Выводы. Молодая наука диетология на заре своего существования принимает химическую классификацию углеводов. По непонятным причинам сахара объявляются «вредными» (хотя ГИ сахаров может варьироваться от 19 до 100), а олигосахариды «полезными» (хотя ГИ олигосахаридов может варьироваться от 40 до 110). *Всемирная организация здравоохранения* (ВОЗ) рекомендует с 2002 года в дневном рационе принимать менее 5% сахаров, что начинает повторять рекомендации по снижению общего количества жиров в рационе. При этом существует множество свидетельств того, что, несмотря на повсеместное распространение рекомендаций по диете с низким содержанием жиров, абсолютное количество потребляемых жиров мало снизилось, в то время как абсолютное количество углеводов и белков увеличивалось до середины 2000-х годов. Хотя эти изменения привели к снижению процентного содержания энергии из жира, общее потребление энергии увеличилось [8]. Руководства по питанию и клинические рекомендации по лечебному питанию при ожирении, диабете и сердечно-сосудистых заболеваниях претерпели важную модернизацию за последнее десятилетие. Исторически эти рекомендации были сосредоточены на узком допустимом диапазоне распределения макронутриентов (например, 55% энергии из углеводов, 30% из жиров и 15% из белков). Причем в этот момент использовалась исключительно химическая классификация углеводов и эти 55% раскладывались на 5-10% из сахаров и 45-50% из олиго/полисахаридов. По мере того, как больше внимания уделялось качеству (классификация углеводов по качеству), а не количеству углеводов, жиров и белков, этот диапазон становился все шире (45–65% энергии из углеводов (зерновые, бобовые, овощи, фрукты), <35% энергии из жира и 15-20% энергии из белка) [45]. Прогресс продолжился с дальнейшим сдвигом от акцента на отдельных макронутриентах к рекомендациям, основанным на пищевых продуктах и режимах питания. В самых последних клинических рекомендациях по диетотерапии при диабете и сердечно-сосудистых заболеваниях в США [2, 28], Европе [15] и Канаде [3, 14] уже используется этот подход. Возможно, настало время сместить внимание с макронутриентов (данные подходы не увенчались успехом), на продукты с большой и малой энергетической ценностью и разработать простые классификации, которые будут учитывать специфику, контингент и задачи населения в целом.

Литература

1. Aller E.E., Abete I., Astrup A. Starches, sugars and obesity // *Nutrients*. 2011. №3(3). P. 341–369.
2. American Diabetes Association. Lifestyle management: Standards of Medical Care in Diabetes-2019 // *Diabetes Care*. 2019. №42(suppl 1). P. 46–60.
3. Anderson T.J., Gregoire J., Pearson G.J. Canadian cardiovascular society guidelines for the management of dyslipidemia for the prevention of cardiovascular disease in the adult // *Can J Cardiol*. 2016. №32. P. 1263–1282.
4. Archer E. In Defense of Sugar: A Critique of Diet-Centrism // *Prog Cardiovasc Dis*. 2018. Vol. 61(1). P. 10–19.
5. Arencibia -Albite F. Serious analytical inconsistencies challenge the validity of the energy balance theory // *Heliyon*. 2020. Vol. 6(7). P. e04204.
6. Atkinson F.S., Foster-Powell K., Brand-Miller J.C. International tables of glycemic index and glycemic load values // *Diabetes Care*. 2008. Vol. 31. P. 2281–2283.
7. Aune D., Keum N., Giovannucci E. Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies // *BMJ*. 2016. Vol. 353. P. i2716.
8. Austin G.L., Ogden L.G., Hill J.O. Trends in carbohydrate, fat, and protein intakes and association with energy intake in normal-weight, overweight, and obese individuals: 1971-2006 // *Am J Clin Nutr*. 2011. Vol. 93. P. 836–843.
9. Banting F.G. The History of Insulin // *Edinb Med J*. 1929. Vol. 36(1). P. 1–18.
10. Bourassa M.W., Alim I., Bultman S.J., Ratan R.R. Butyrate, neuroepigenetics and the gut microbiome: Can a high fiber diet improve brain health? // *Neurosci Lett*. 2016. Vol. 625. P. 56–63.
11. Brouns F. Saccharide Characteristics and Their Potential Health Effects in Perspective // *F Nutr*. 2020. №7. P. 75.
12. Brownlee M. A radical explanation for glucose-induced beta cell dysfunction // *J. Clin. Invest*. 2003. №112. P. 1788–1790.
13. Cai X., Wang C., Wang S. Carbohydrate intake, glycemic index, glycemic load, and stroke: a meta-analysis of prospective cohort studies // *Asia Pac J Public Health*. 2015. №27. P. 486–496.
14. Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee / Sievenpiper J.L., Chan C.B., Dworatzek P.D. [et al]. // *Nutrition therapy. Diabetes Can J Diabetes*. 2018. №42(1). P. 64–79.
15. Catapano A.L., Graham I., De Backer G. ESC/EAS guidelines for the management of dyslipidaemias // *Eur Heart J*. 2016. №37. P. 2999–3058.

16. Champ M., Langkilde A.M., Brouns F., Kettlitz B., le Bail Collet Y. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects // *Nutr. Res. Rev.* 2003. №16. P. 71–82.
17. Charles R. Diabetes in the tropics // *BMJ.* 1907. №19. P. 1051–1064.
18. Chiavaroli L., Kendall C.W.C., Braunstein C.R. Effect of pasta in the context of low-glycaemic index dietary patterns on body weight and markers of adiposity: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in adults // *BMJ Open.* 2018. №8. P. e019438.
19. Choo V.L., Vigiouliouk E., Blanco Mejia S. Food sources of fructose-containing sugars and glycaemic control: systematic review and meta-analysis of controlled intervention studies // *BMJ.* 2018. №363. P. k4644.
20. Clamp L., Hehir A.P., Lambert E.V. Lean and obese dietary phenotypes: Differences in energy and substrate metabolism and appetite // *Br J Nutr.* 2015. №114. P. 1724–1733.
21. da Silva P.M., Gauche C., Gonzaga L.V., Costa A.C., Fett R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity // *Food Chem.* 2016. №196. P. 309–323.
22. Elia M., Cummings J.H. Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates // *Eur J Clin Nutr.* 2007. №61. P. 40–74.
23. Emerson H., Larimore L.D. Diabetes mellitus: a contribution to its epidemiology based chiefly on mortality statistics // *Arch Intern Med (Chic).* 1924. №34. P. 585–630.
24. Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions // *Eur. J. Clin. Nutr.* 1992. №46 (Suppl. 2). P. 33–50.
25. Englyst K.N., Liu S., Englyst H.N. Nutritional characterization measurement of dietary carbohydrates // *Eur J Clin Nutr.* 2007. № 61(1). P. 19–39.
26. Escuredo O., Dobre I., Fernández-González M., Seijo M.C. Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon // *Food Chemistry.* 2014. №149. P. 84–90.
27. Evans C.E., Greenwood D.C., Threapleton D.E. Glycemic index, glycemic load, and blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Am J Clin Nutr.* 2017. №105. P. 1176–1190.
28. Grundy S.M., Stone N.J., Bailey A.L. AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA guideline on the management of blood cholesterol // *J Am Coll Cardiol.* 2019. №73. P. 3168–3209.
29. Hargrove J.L. Does the history of food energy units suggest a solution to "Calorie confusion"? // *Nutr J.* 2007. №6. P. 44.
30. Hills S.P., Mitchell P., Wells C., Russell M. Honey Supplementation and Exercise: A Systematic Review // *Nutrients.* 2019. №11(7). P. 1586.
31. Hollænder P.L., Ross A.B., Kristensen M. Whole-grain and blood lipid changes in apparently healthy adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies // *Am J Clin Nutr.* 2015. №102. P. 556–572.
32. Huang H., Chen G., Liao D. Effects of berries consumption on cardiovascular risk factors: a meta-analysis with trial sequential analysis of randomized controlled trials // *Sci Rep.* 2016. №6. P. 23–25.
33. Khan T.A., Sievenpiper J.L. Controversies about sugars: results from systematic reviews and meta-analyses on obesity, cardiometabolic disease and diabetes // *Eur J Nutr.* 2016. №55(2). P. 25–43.
34. Kim S.J., de Souza R.J., Choo V.L. et al. Effects of dietary pulse consumption on body weight: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *Am J Clin Nutr.* 2016. №103. P. 1213–1223.
35. Kita A. The influence of potato chemical composition on crisp texture // *Food Chem.* 2002. №76. P. 173–179.
36. Lina B.A., Jonker D., Kozianowski G. Isomaltulose (Palatinose): a review of biological and toxicological studies // *Food Chem Toxicol.* 2002. №40. P. 1375–1381.
37. Livesey G., Livesey H. Coronary heart disease and dietary carbohydrate, glycemic index, and glycemic load: dose-response meta-analyses of prospective cohort studies // *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes.* 2019. №3. P. 52–69.
38. Martens B.M.J., Gerrits W.J.J., Bruininx E.M.A.M., Schols H.A. Amylopectin structure crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an in vitro pig model // *J Anim Sci Biotechnol.* 2018. №91. P. 2–13.
39. Reynolds A., Mann J., Cummings J. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses // *Lancet.* 2019. №393. P. 434–445.
40. Rippe J.M., Angelopoulos T.J. Relationship between Added Sugars Consumption and Chronic Disease Risk Factors: Current Understanding // *Nutrients.* 2016. №8(11). P. 697.
41. Saris W.H., van Erp-Baart M.A., Brouns F. Study on food intake energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France // *J SportsMed.* 1989. №10(1). P. 26–31.
42. Schwingshackl L., Hoffmann G., Lampousi A.M. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies // *Eur J Epidemiol.* 2017. №32. P. 363–375.

43. Schwingshackl L., Hoffmann G. Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: a systematic review and meta-analysis // *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2013. №23. P. 699.
44. Shen X.L., Zhao T., Zhou Y. Effect of oat β -glucan intake on glycaemic control and insulin sensitivity of diabetic patients: a meta-analysis of randomized controlled trials // *Nutrients*. 2016. №8. P. 39.
45. Sievenpiper J.L., Dworatzek P.D. Food and dietary pattern-based recommendations: an emerging approach to clinical practice guidelines for nutrition therapy in diabetes // *Can J Diabetes*. 2013. №37. P. 51–57.
46. Sievenpiper J.L. Low-carbohydrate diets and cardiometabolic health: the importance of carbohydrate quality over quantity // *Nutr Rev*. 2020. №78(Suppl.1). P. 69–77.
47. Te Morenga L., Mallard S., Mann J. Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies // *BMJ*. 2012. №346. P. e7492.
48. van Can J.G., Ijzerman T.H., van Loon L.J., Brouns F., Blaak E.E. Reduced glycaemic and insulinaemic responses following isomaltulose ingestion: implications for postprandial substrate use // *Br J Nutr*. 2009. №102. P. 1408–1413.
49. Vigiouliou E., Blanco Mejia S., Kendall C.W. Can pulses play a role in improving cardiometabolic health? Evidence from systematic reviews and meta-analyses // *Ann N Y Acad Sci*. 2017. №1392. P. 43–57.
50. Vigiouliou E., Nishi S.K., Wolever T.M.S. Point: glycemic index an important but oft misunderstood marker of carbohydrate quality // *CFW*. 2018. №63. P. 158–164.
51. Wang X., Ouyang Y., Liu J. Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies // *BMJ*. 2014. №349. P. g4490.
52. Zafar M.I., Mills K.E., Zheng J. Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis // *Am J Clin Nutr*. 2019. №110. P. 891–902.
53. Zeeman S.C., Kossmann J., Smith A.M. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants // *Annu Rev Plant Biol*. 2010. №61. P. 209–234.
54. Zhang G., Hamaker B.R. Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr*. 2009. №49. P. 852–867.

References

1. Aller EE, Abete I, Astrup A, Martinez JA, van Baak MA. Starches, sugars and obesity. *Nutrients*. 2011;3(3):341-69.
2. American Diabetes Association. 5. Lifestyle Management: Standards of Medical Care in Diabetes-2019. *Diabetes Care*. 2019;42(1):46-60.
3. Anderson TJ, Grégoire J, Pearson GJ. Canadian Cardiovascular Society Guidelines for the Management of Dyslipidemia for the Prevention of Cardiovascular Disease in the Adult. *Can J Cardiol*. 2016;32(11):1263-82.
4. Archer E. In Defense of Sugar: A Critique of Diet-Centrism. *Prog Cardiovasc Dis*. 2018;61(1):10-9.
5. Arencibia-Albite F. Serious analytical inconsistencies challenge the validity of the energy balance theory. *Heliyon*. 2020;6(7):e04204.
6. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008. *Diabetes Care*. 2008;31(12):2281-3.
7. Aune D, Keum N, Giovannucci E, et al. Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ*. 2016;353:i2716.
8. Austin GL, Ogden LG, Hill JO. Trends in carbohydrate, fat, and protein intakes and association with energy intake in normal-weight, overweight, and obese individuals: 1971-2006. *Am J Clin Nutr*. 2011;93(4):836-43.
9. Banting FG. The History of Insulin. *Edinb Med J*. 1929;36(1):1-18.
10. Bourassa MW, Alim I, Bultman SJ, Ratan RR. Butyrate, neuroepigenetics and the gut microbiome: Can a high fiber diet improve brain health? *Neurosci Lett*. 2016;625:56-63.
11. Brouns F. Saccharide Characteristics and Their Potential Health Effects in Perspective. *Front Nutr*. 2020;7:75.
12. Brownlee M. A radical explanation for glucose-induced beta cell dysfunction. *J Clin Invest*. 2003;112(12):1788-90.
13. Cai X, Wang C, Wang S. Carbohydrate Intake, Glycemic Index, Glycemic Load, and Stroke: A Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Asia Pac J Public Health*. 2015;27(5):486-96.
14. Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee, Sievenpiper JL, Chan CB, Dworatzek PD, Freeze C, Williams SL. Nutrition Therapy. *Can J Diabetes*. 2018;42:64-79.

15. Catapano AL, Graham I, De Backer G. 2016 ESC/EAS Guidelines for the Management of Dyslipidaemias. *Eur Heart J*. 2016;37(39):2999-3058.
16. Champ M, Langkilde AM, Brouns F, Kettlitz B, Collet Yle B. Advances in dietary fibre characterisation. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutr Res Rev*. 2003;16(1):71-82.
17. Charles R. Diabetes in the tropics. *BMJ*. 1907;19:1051-64.
18. Chiavaroli L, Kendall CWC, Braunstein CR. Effect of pasta in the context of low-glycaemic index dietary patterns on body weight and markers of adiposity: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials in adults. *BMJ Open*. 2018;8(3):e019438.
19. Choo VL, Vigiouliouk E, Blanco Mejia S. Food sources of fructose-containing sugars and glycaemic control: systematic review and meta-analysis of controlled intervention studies. *BMJ*. 2018;363:k4644.
20. Clamp L, Hehir AP, Lambert EV, Beglinger C, Goedecke JH. Lean and obese dietary phenotypes: differences in energy and substrate metabolism and appetite. *Br J Nutr*. 2015;114(10):1724-33.
21. da Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa AC, Fett R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chem*. 2016;196:309-23.
22. Elia M, Cummings JH. Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *Eur J Clin Nutr*. 2007;61:40-74.
23. Emerson H, Larimore LD. Diabetes mellitus: a contribution to its epidemiology based chiefly on mortality statistics. *Arch Intern Med (Chic)* 1924;34:585-630.
24. Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*. 1992;46:33-50.
25. Englyst KN, Liu S, Englyst HN. Nutritional characterization and measurement of dietary carbohydrates. *Eur J Clin Nutr*. 2007;61:19-39.
26. Escuredo O, Dobre I, Fernández-González M, Seijo MC. Contribution of botanical origin and sugar composition of honeys on the crystallization phenomenon. *Food Chem*. 2014;149:84-90.
27. Evans CE, Greenwood DC, Threapleton DE, Gale CP, Cleghorn CL, Burley VJ. Glycemic index, glycemic load, and blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr*. 2017;105(5):1176-90.
28. Grundy SM, Stone NJ, Bailey AL. 2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline on the Management of Blood Cholesterol: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73(24):e285-e350.
29. Hargrove JL. Does the history of food energy units suggest a solution to "Calorie confusion"? *Nutr J*. 2007;6:44.
30. Hills SP, Mitchell P, Wells C, Russell M. Honey Supplementation and Exercise: A Systematic Review. *Nutrients*. 2019;11(7):1586.
31. Hollænder PL, Ross AB, Kristensen M. Whole-grain and blood lipid changes in apparently healthy adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Am J Clin Nutr*. 2015;102(3):556-72.
32. Huang H, Chen G, Liao D, Zhu Y, Xue X. Effects of Berries Consumption on Cardiovascular Risk Factors: A Meta-analysis with Trial Sequential Analysis of Randomized Controlled Trials. *Sci Rep*. 2016;6:23-5.
33. Khan TA, Sievenpiper JL. Controversies about sugars: results from systematic reviews and meta-analyses on obesity, cardiometabolic disease and diabetes. *Eur J Nutr*. 2016;55(2):25-43.
34. Kim SJ, de Souza RJ, Choo VL. Effects of dietary pulse consumption on body weight: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr*. 2016;103(5):1213-23.
35. Kita A. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chemistry*. 2002;76(2):173-9.
36. Lina BA, Jonker D, Kozianowski G. Isomaltulose (Palatinose): a review of biological and toxicological studies. *Food Chem Toxicol*. 2002;40(10):1375-81.
37. Livesey G, Livesey H. Coronary Heart Disease and Dietary Carbohydrate, Glycemic Index, and Glycemic Load: Dose-Response Meta-analyses of Prospective Cohort Studies. *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes*. 2019;3(1):52-69.
38. Martens BMJ, Gerrits WJJ, Bruininx EMAM, Schols HA. Amylopectin structure crystallinity explains variation in digestion kinetics of starches across botanic sources in an in vitro pig model. *J Anim Sci Biotechnol*. 2018;91:2-13.
39. Reynolds A, Mann J, Cummings J, Winter N, Mete E, Te Morenga L. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses. *The Lancet*. 2019;393:434-45
40. Rippe JM, Angelopoulos TJ. Relationship between Added Sugars Consumption and Chronic Disease Risk Factors: Current Understanding. *Nutrients*. 2016;8(11):697.

41. Saris WH, van Erp-Baart MA, Brouns F, Westerterp KR, ten Hoor F. Study on food intake and energy expenditure during extreme sustained exercise: the Tour de France. *Int J Sports Med.* 1989;10:26-31.
42. Schwingshackl L, Hoffmann G, Lampousi AM. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Eur J Epidemiol.* 2017;32(5):363-75.
43. Schwingshackl L, Hoffmann G. Long-term effects of low glycemic index/load vs. high glycemic index/load diets on parameters of obesity and obesity-associated risks: a systematic review and meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2013;23(8):699-706.
44. Shen XL, Zhao T, Zhou Y, Shi X, Zou Y, Zhao G. Effect of Oat β -Glucan Intake on Glycaemic Control and Insulin Sensitivity of Diabetic Patients: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 2016;8(1):39.
45. Sievenpiper JL, Dworatzek PD. Food and dietary pattern-based recommendations: an emerging approach to clinical practice guidelines for nutrition therapy in diabetes. *Can J Diabetes.* 2013;37(1):51-7.
46. Sievenpiper JL. Low-carbohydrate diets and cardiometabolic health: the importance of carbohydrate quality over quantity. *Nutr Rev.* 2020;78(1):69-77.
47. Te Morenga L, Mallard S, Mann J. Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomised controlled trials and cohort studies. *BMJ.* 2012;346:e7492.
48. van Can JG, Ijzerman TH, van Loon LJ, Brouns F, Blaak EE. Reduced glycaemic and insulinaemic responses following isomaltulose ingestion: implications for postprandial substrate use. *Br J Nutr.* 2009;102(10):1408-13.
49. Vigiouliou E, Blanco Mejia S, Kendall CW, Sievenpiper JL. Can pulses play a role in improving cardiometabolic health? Evidence from systematic reviews and meta-analyses. *Ann N Y Acad Sci.* 2017;1392(1):43-57.
50. Vigiouliou E, Nishi SK, Wolever TMS, Sievenpiper JL. Point: Glycemic index'an important but oft misunderstood marker of carbohydrate Cereal Foods World. 2018;63(4):158-64.
51. Wang X, Ouyang Y, Liu J. Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ.* 2014;349:g4490.
52. Zafar MI, Mills KE, Zheng J. Low-glycemic index diets as an intervention for diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr.* 2019;110(4):891-902.
53. Zeeman SC, Kossmann J, Smith AM. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. *Annu Rev Plant Biol.* 2010;61:209-34.
54. Zhang G, Hamaker BR. Slowly digestible starch: concept, mechanism, and proposed extended glycemic index. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2009;49(10):852-67.

Библиографическая ссылка:

Мирошников А.Б., Форменов А.Д., Смоленский А.В. Современное представление о гидратах углерода: интегративный обзор // Вестник новых медицинских технологий. Электронное периодическое издание. 2021. №1. Публикация 3-8. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-1/3-8.pdf> (дата обращения: 10.02.2021). DOI: 10.24412/2075-4094-2021-1-3-8*

Bibliographic reference:

Miroshnikov AB, Formenov AD, Smolensky AV. Sovremennoe predstavlenie o gidratah ugleroda: integrativnyj obzor [Modern concept of carbon hydrates: integrative review]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition.* 2021 [cited 2021 Feb 10];1 [about 11 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-1/3-8.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2021-1-3-8

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2021-1/e2021-1.pdf>