

ВЛИЯНИЕ САХАРОЗАМЕНТЕЛЕЙ НА УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН, МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И КИШЕЧНУЮ МИКРОБИОТУ



© Н.В. Силина*, Н.В. Мазурина, Е.В. Ершова, К.А. Комшилова

Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии, Москва, Россия

Распространенность ожирения и сахарного диабета 2 типа продолжает расти, что определяет необходимость разработки новых методов профилактики с целью снижения популяционных рисков развития данных заболеваний. Актуальным направлением является ограничение потребления легкоусвояемых углеводов и использование вместо них низкокалорийных или некалорийных сахарозаменителей (подсластителей). В настоящее время наблюдается увеличение использования некалорийных подсластителей при изготовлении продуктов питания. В этой связи изучение их возможных эффектов на метаболические процессы приобретает большую значимость.

В данном обзоре приведены исследования, показавшие различное влияние некалорийных сахарозаменителей различного химического строения на углеводный и жировой обмен, массу тела, состав кишечной микробиоты, а также регуляцию пищевого поведения. Часть исследований показывает, что некалорийные сахарозаменители могут использоваться у лиц с ожирением в рамках комплексной программы снижения массы тела, а также у пациентов с сахарным диабетом 2 типа с целью снижения постпрандиальной гипергликемии. Другие исследования демонстрируют негативное влияние ряда некалорийных сахарозаменителей на углеводный обмен.

Основной поиск материалов осуществлялся в базах данных Pubmed, eLIBRARY.ru, Google Scholar. Временные критерии поиска: 2012–2023 гг. Соответствующая дополнительная литература была включена после ручного поиска в списках литературы включенных статей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сахарозаменители; сукралоза; инкретины; ксилит; эритрит; метаболизм; аспартам; ацесульфам; стевииозиды; инсулинорезистентность; микробиота; ожирение.

THE EFFECT OF SWEETENERS ON CARBOHYDRATE METABOLISM, METABOLIC PARAMETERS AND INTESTINAL MICROBIOTA

© Natalia V. Silina*, Natalya V. Mazurina, Ekaterina V. Ershova, Kseniya A. Komshilova

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

The prevalence of obesity and type 2 diabetes continues to grow, which determines the need to develop new methods of prevention in order to reduce the population risks of developing these diseases. The current direction is to limit the consumption of easily digestible carbohydrates and use low-calorie or non-calorie sweeteners instead. Currently, there is an increase in the use of non-calorie sweeteners in the manufacture of food. In this regard, the study of their possible effects on metabolic processes is of great importance.

This review presents studies that have shown different effects of non-calorie sweeteners on carbohydrate and fat metabolism, body weight, the composition of intestinal microbiota, as well as the regulation of eating behavior. Some studies show that low-calorie sugar substitutes can be used in obese people as part of a comprehensive weight loss program, as well as in patients with type 2 diabetes mellitus with the aim of reducing postprandial hyperglycemia. Other studies demonstrate the negative effect of a number of low-calorie sweeteners on carbohydrate metabolism.

The main search for materials was carried out in Pubmed databases, eLIBRARY.ru, Google Scholar. Temporary search criteria 2012–2023 The relevant additional literature was included after a manual search in the literature lists of the included articles.

KEYWORDS: sweeteners; sucralose; incretins; xylitol; erythritol; metabolism; aspartam; acesulfame; steviosides; insulin resistance; microbiota; obesity.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из причин резкого роста распространенности ожирения является избыточное потребление легкоусвояемых (простых) углеводов. Присутствие в ежедневном рационе избыточного количества сахарозы и продуктов, содержащих глюкозно-фруктозный сироп, способствует повышению рисков развития ожирения, метаболического синдрома, инсулинорезистентности, сердечно-

сосудистых заболеваний и сахарного диабета 2 типа [1, 2]. По данным ВОЗ, к 2025 г. распространенность ожирения в мире достигнет 18% у мужчин и 21% у женщин, а морбидного ожирения — 6% у мужчин и 9% у женщин [3]. Согласно рекомендациям ВОЗ, норма потребления легкоусвояемых (простых) сахаров у взрослого человека не должна превышать 10% от калорийности суточного рациона. Экспертами обсуждается сокращение доли легкоусвояемых углеводов в рационе до 5%, в связи с чем

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.



Таблица 1. Виды сахарозаменителей (адаптировано из публикации Yebra-Biurrun M., 2005 г.) [5]**Table 1.** Types of sweeteners (adapted from the publication Yebra-Biurrun M., 2005) [5]

Подсластители	Высокоинтенсивные	Синтетические	Ацесульфам		
			Алитам		
			Аспартам		
			Сукралоза		
			Циклакат		
			Неотам		
			Сахарин		
			Неогесперидин		
			Дигидрохалкон		
			Глицирризин		
			Стевиозид		
			Тауматин		
			Калорийные		
			Меласса (патока)		
Низкоинтенсивные	Низкокалорийные	Сахарные спирты	Моносахариды	Эритритол	
				Маннитол	
			Сорбитол		
			Ксилитол		
Дисахариды		Изомальт			
		Лактитол			
		Мальтитол			
		Гидрогенизированный гидролизат крахмала			
		Тагатоза			

растет интерес к низкокалорийным или некалорийным сахарозаменителям (подсластителям) в качестве альтернативы различным видам сахаров [4].

В 2023 г. ВОЗ был опубликован обзор, посвященный влиянию некалорийных подсластителей на метаболические показатели, массу тела и некоторые другие хронические неинфекционные заболевания. Авторы данного обзора сообщают об отсутствии преимуществ при замене привычных сахаров в рационе на некалорийные подсластители и не рекомендуют их применение. Однако в данном документе объединены различные виды сахарозаменителей, которые отличаются по своим свойствам и природе. Мы представляем описание эффектов различных сахарозаменителей и их потенциальную пользу для снижения массы тела, а также ряд дополнительных влияний на углеводный обмен.

Еще в 20 в. появились подсластители, которые имитируют сладкий вкус и применяются в качестве альтернативы сахару (табл. 1) [1]. В таблице 1 представлена классификация сахарозаменителей с учетом их происхождения (искусственные и натуральные), калорийности и интенсивности вкуса.

В настоящее время Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) одобрено шесть некалорийных подсластителей в качестве пищевых добавок: аспартам, ацесульфам, сахарин, сукралоза, неотам, адвантам. Гликозиды стевии (*Stevia rebaudiana*) и архат (*monk fruit*, или экстракт плодов *Siraitia grosvenorii Swingle*) разрешены для использования в пищевых продуктах при определенных условиях [6]. Помимо тех подсластителей, что одобрены FDA, в Европейском Союзе (ЕС) разрешены: циклакат, тауматин, неогесперидин, соль аспартама-ацесульфама,

гликозиды стевии [7]. Имеются данные, подтверждающие безопасность сахарозаменителей при их использовании в предельно допустимых количествах (табл. 2). Синтетические некалорийные подсластители, широко применяющиеся в пищевой промышленности, обладают гораздо более сладким вкусом в сравнении с калорийными сахарозаменителями, поэтому их добавление в продукты питания позволяет снизить общую калорийность продуктов [8].

В связи с высокой популярностью некалорийных сахарозаменителей возник вопрос об их возможном влиянии на метаболические процессы, ведь несмотря на увеличение их употребления численность больных ожирением и сахарным диабетом 2 типа не снижается. В последние годы появились публикации о возможном положительном влиянии натуральных сахарозаменителей, являющихся многоатомными спиртами (полиолами), в частности эритритола и ксилитола, на сердечно-сосудистую систему и кишечную микробиоту. В нашем обзоре мы обобщили результаты исследований об эффектах искусственных подсластителей в сравнении с полиолами на углеводный, жировой обмен, особенно в целевой группе пациентов с избыточной массой тела и ожирением.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ НА УГЛЕВОДНЫЙ ОБМЕН И МАССУ ТЕЛА

В настоящее время мы располагаем результатами ряда исследований, показавших отрицательное влияние искусственных сахарозаменителей на углеводный обмен, в том числе повышение риска развития сахарного диабета 2 типа. Употребление напитков с высоким содержанием сахаров связывают с увеличением заболеваемости

Таблица 2. Допустимый уровень потребления подсластителей и применение в пищевой промышленности [6, 9, 10]

Table 2. Acceptable level of sweetener consumption and use in the food industry [6, 9, 10]

Вид подсластителя	Калорийность, ккал/г	Допустимое потребление/сут	Уровень сладости	Свойства подсластителя
Моносахариды, полиолы и другие				
Сорбитол (E420)	2,6	слабительный эффект при употреблении 50 г/сут	50–70% сладости сахарозы	текстурирующий агент, антикариесогенный
Маннитол (E421)	1,6	слабительный эффект в дозе 20 г/сут	50–70% сладости сахарозы	маскировка горького вкуса, антикариесогенный
Ксилитол (E967)	2,4	–	100% сладости сахарозы	антикариесогенный
Эритритол (E968)	0,2	РСД — 35–70 г/сут ДСД — НД	60–80% сладости сахарозы	усилитель вкуса, стабилизатор, загуститель, секвестрант и текстуризатор
D-тагатоза	1,5	РСД — 7,5 г/сут ДСД — 15 г/50 кг (взрослые)	75–92% сладости сахарозы	текстурирующий агент, усилитель вкуса, ароматизатор, стабилизатор
Дисахариды полиолы				
Изомальтит (E953)	2,0	–	45–65% сладости сахарозы	усилитель вкуса, при нагревании не теряет сладости
Лактитол (E966)	2,0	–	30–40% сладости сахарозы	синергист других подсластителей, антикариесогенный
Мальтитол (E965)	2,1	–	90% сладости сахарозы	столовый подсластитель, может заменить часть жиров в продукции из-за придания кремообразности, антикариесогенный
Изомальтулоза	4,0	РСД — 3–6 г/сут ДСД — НД	50% сладости сахарозы	используется как более медленноусвояемый углевод
Трегалоза	3,6	РСД — 34–68 г/сут ДСД — НД	45% сладости сахарозы	придание окраски, усилитель вкуса, стабилизатор, текстуризатор, загуститель
Полисахариды полиолы				
Гидрогенизированный гидролизат крахмала	3,0	–	25–50% сладости сахарозы	увеличение вязкости, в качестве связующего агента модификатор, криопротектор, синергизм с другими подсластителями
Непитательные подсластители*				
Ацесульфам калия (E950)	0	РСД — 0,2 до 1,7 мг/кг ДСД — 15 мг/кг/сут	в 200 раз	устойчив при нагревании, допустимо сочетание с другими подсластителями
Аспартам (E951)	4	РСД — 0,2 до 4,1 мг/кг ДСД — 50 мг/кг/сут	в 160–220 раз	одобрен в качестве подсластителя, разрушается при нагреве
Архат (monk fruit)	0	РСД — 6,8 мг/кг ДСД — НД	в 150–300 раз	в качестве подсластителя, дополнение к другим видам
Неотам (E961)	0	РСД — 0,05 до 0,17 мг/кг ДСД — 0,3 мг/кг/сут	в 7000–13000 раз	в качестве подсластителя за исключением добавления к мясу и птице, термостабилен
Сахарин (E954)	0	РСД — 0,1 до 2,0 мг/кг ДСД — 15 мг/кг/сут	в 300 раз	ограничение до 12 мг на порцию напитка, 20 мг/порцию в виде порошка или 30 мг на порцию в продуктах в обработанном виде

Вид подсластителя	Калорийность, ккал/г	Допустимое потребление/сут	Уровень сладости	Свойства подсластителя
Стевия (E960)	0	РСД — 1,3 до 3,4 мг/кг ДСД — 4 мг/кг/сут	в 250 раз	для использования в качестве подсластителя в различных продуктах питания: крупы, энергетические батончики и напитки, как столовый подсластитель
Сукралоза (E955)	0	РСД — 0,1 до 2,0 мг/кг ДСД — 5 мг/кг/сут	в 600 раз	приготовление пищи и выпечки
Адвантам (E969)	0	ДСД — 32,8 мг/кг/сут	в 20 000 раз	частичная замена сахара, кукурузного сиропа или калорийных подсластителей
Не одобрены FDA				
Циклакат (E952)	0	ДСД — 7–11 мг/кг	30–50 раз	в качестве подсластителя
Тауматин (E957)	0	–	2000–3000 раз	в качестве подсластителя
Неоспердин (E959)	0	ДСД — 0–5 мг/кг	400–600 раз	в качестве подсластителя
Аспартама-ацесульфама соль (E962)	0	ДСД — 0–40 мг/кг для аспартама; 0–9 мг/кг для ацесульфама	350 раз	в качестве подсластителя

РСД — расчетная суточная доза; ДСД — допустимая суточная доза; НД — нет данных

сахарным диабетом 2 типа на 18% (при увеличении потребления на одну порцию в день ~ 237–355 мл), в то время как при употреблении напитков с искусственными подсластителями риск развития диабета повышается на 25% [11]. В метаанализе M. Azad и соавт. продемонстрировано негативное влияние долгосрочного применения (более 12 месяцев) некалорийных подсластителей на метаболические показатели в когортных исследованиях. В частности, сообщается об увеличении окружности талии, ИМТ, повышении риска развития сахарного диабета 2 типа на фоне длительного применения некалорийных искусственных подсластителей (НП). Выявлена ассоциация с развитием артериальной гипертензии, инсульта, сердечно-сосудистых событий, однако при анализе других исследований получены противоположные результаты [12].

В рандомизированном перекрестном исследовании S. Teu и соавт. проводилось сравнение применения напитков с добавлением сахарозы и некалорийных подсластителей (аспартам, стевию, архат) на инсулиновый ответ, вариабельность глюкозы крови и изменение энергетической ценности суточного рациона. Оказалось, что калорийность ежедневного рациона одинакова, как после приема напитка с сахарозой, так и после напитков с некалорийными сахарозаменителями. Авторы отметили, что, вероятно, имеется связь с меньшим чувством насыщения после приема напитков с некалорийными подсластителями, в результате чего происходит частичное увеличение потребления энергии в течение дня в сравнении с группой, употреблявшей напиток с сахарозой. Данное исследование проводилось на здоровых добровольцах, мужчинах, с нормальным ИМТ (18,5–25,0 кг/м²) в течение одного дня, что ограничивает применение результатов в плане долгосрочных эффектов некалорийных подсластителей на массу тела. В группе с использованием сахарозы в качестве подсластителя было отме-

чено быстрое увеличение постпрандиальной гликемии в течение первого часа, а в группе с применением НП схожие изменения наблюдались после обеда, состоявшего из медленноусвояемых углеводов. Интересно, что общая AUC (площадь под кривой) для глюкозы и инсулина была одинаковой в подгруппах сахарозы, аспартама, стевию и архата. В других исследованиях указывалось, что потребление НП не стимулировало высвобождение инсулина, ГИП (гастроинтестинальный пептид) или ГПП-1 (глюкагоноподобный пептид-1) у здоровых людей [13].

Некалорийные подсластители рассматриваются учеными не только, как вещества, влияющие на углеводный и липидный обмен, но и как возможный способ снижения массы тела. Метаанализ P. Roger и соавт. показал, что использование НП помогает снизить калорийность рациона как у людей с нормальной, так и с избыточной массой тела [14]. В другом метаанализе обобщены данные исследований о влиянии некалорийных подсластителей (аспартама, сахарина, сукралозы, стевию, циклаката и ацесульфама) на изменение индекса массы тела (ИМТ). При применении продуктов и напитков, подслащенных НП в сравнении с сахарозой, наблюдалось более выраженное снижение массы тела ($p < 0,001$) [15].

В рандомизированном клиническом исследовании J.C. Peters и соавт. показано, что использование НП в напитках вместо сахара может быть эффективным средством снижения калорийности рациона в рамках комплексной программы снижения массы тела (регулярные физические нагрузки не менее 300 минут в неделю, ограничение употребления жиров до 35% от суточной калорийности рациона). Исследование проводилось в два этапа в течение года на 303 добровольцах. Участники первой группы употребляли 710 мл воды в день, второй группы — аналогичное количество напитков с НП. По результатам исследования в группе, принимавшей напиток

с НП, наблюдалась большая потеря массы тела, но в дальнейшем у участников обеих групп отмечено постепенное увеличение веса, однако в группе с использованием НП он был менее выражен. Вероятнее всего, результаты связаны с субъективным чувством голода, которое было выражено сильнее у участников группы, получавшей воду. Возможно, ограничение сладких напитков побуждало употреблять больше сладких продуктов, что приводило к большему потреблению энергии [16].

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ НЕКАЛОРИЙНЫХ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ КАЛОРИЙНОСТИ РАЦИОНА

У лиц с ожирением в отличие от людей с нормальной массой тела происходит более быстрое всасывание глюкозы в кишечнике, что связано с чрезмерной экспрессией транспортеров глюкозы НГЛТ-1 (SGLT-1) и ГЛЮТ-2 (GLUT2). В результате развивается постпрандиальная гипергликемия [17, 18, 19]. В связи с тем что искусственные сахарозаменители могут оказывать нежелательный эффект на метаболические показатели, в настоящее время интерес исследователей прикован к натуральным или природным подсластителям: их влиянию на массу тела, стимуляцию выработки кишечных пептидов, углеводный и липидный обмены.

В. Wölnerhanssen и соавт. в двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании на двенадцати здоровых добровольцах определили, что введение эритрита увеличивает секрецию холецистокинина (ХК), глюкагоноподобного пептида-1 (ГПП-1) и пептида-YY (РYY), при этом не было отмечено различий между плацебо (вода) и эритриолом по влиянию на уровень глюкозы, инсулина, глюкагона, липидов и мочевой кислоты [20].

В экспериментах на мышах при введении эритрита совместно с 0,5 г крахмала наблюдалось минимальное повышение постпрандиального уровня глюкозы (спустя 0, 30, 60, 100, 140 и 180 минут), авторы связывают данный эффект со способностью эритриола (эритрита) ингибировать альфа-глюкозидазу [21].

Meyer-Gerspach с соавт. провели похожее исследование по оценке влияния ксилитола (ксилита) на продукцию инкретинов у здоровых людей с нормальной массой тела. При введении смеси с подсластителем при помощи зонда были получены следующие результаты: как и в случае с эритритом, происходило увеличение секреции ХК, ГПП-1 и РYY, замедление скорости опорожнения желудка, причем наблюдалась прямая дозозависимая связь. При введении ксилита по сравнению с плацебо увеличивалась концентрация глюкозы и инсулина, но не происходило высвобождение мотилина, глюкагона или ГИП (глюкозозависимый инсулиноотропный полипептид). Ранее в некоторых исследованиях изучался эффект ксилита на липидный профиль и концентрацию мочевой кислоты при более длительном применении, результаты большинства из них неоднозначны и требуют дальнейшего изучения [22]. Употребление эритрита и ксилита на протяжении пяти и семи недель у людей с ожирением, но без сахарного диабета в проспективном исследовании не приводило к изменению всасывания глюкозы в кишечнике и развитию гипергликемии, что может говорить о безопасности их применения даже у пациентов с диабетом [23]. При сравнении

влияния раствора декстрозы и смеси подсластителей (эритрит, ксилит и стевия) у здоровых добровольцев время приема некалорийных подсластителей наблюдался незначительный гликемический ответ [24].

В систематическом обзоре и метаанализе с общим числом участников 462 человека исследовалось влияние гликозидов стевииола (стевия, стевииозид) на уровень глюкозы крови натощак, инсулина и артериального давления (АД). В результате на фоне употребления стевииозида происходило снижение систолического АД ($p < 0,00001$), но не было зафиксировано существенного изменения уровня глюкозы крови натощак ($p = 0,32$), гликированного гемоглобина, а также показателей липидного обмена [25]. В экспериментах на мышах наблюдался гипогликемический эффект стевииозида за счет повышения секреции инсулина, снижения концентрации глюкозы в плазме и подавления выработки глюкагона [26].

ВЛИЯНИЕ НАТУРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ САХАРОЗАМЕНИТЕЛЕЙ НА МИКРОФЛОРУ КИШЕЧНИКА

Еще в начале 20 века лауреат Нобелевской премии И.И. Мечников постулировал, что определенные виды микроорганизмов могут приносить пользу здоровью человека, а ряд других, продуцируя токсические вещества, способствовать повреждению клеток и ускоренному старению организма. Тема микробиоты человека не теряет своей актуальности и в настоящий момент. Микробиом — группа микроорганизмов, живущих симбиотическим образом в организме, большинство кишечных бактерий являются представителями четырех основных семейств: *Firmicutes* (64%), *Bacteroidetes* (23%), *Proteobacteria* (8%) и *Actinobacteria* (3%) [27].

Подсластители, являясь пищевым компонентом, как и любой другой элемент в рационе, могут влиять на микробиоту кишечника. В качестве синтетических подсластителей в большинстве исследований рассматриваются: аспартам, ацесульфам калия, цикламат, сукралоза, сахарин. Аспартам, состоящий из L-фенилаланина и аспарагиновой кислоты, подвергается гидролизу до аспарагиновой кислоты, L-фенилаланина и метанола, которые всасываются в двенадцатиперстной и тощей кишке, не достигая толстого кишечника. В исследовании К. Gerasimidis и соавт. введение подсластителя на основе аспартама и мальтодекстрина значительно увеличивало рост *Bifidobacterium* и *Blautiacoccoides*, снижало соотношение *Bacteroides/Prevotella*, однако на результаты могло повлиять наличие в смеси подсластителей мальтодекстрина [28]. Влияние ацесульфама калия на микробиоту кишечника маловероятно из-за того, что он всасывается в тонком кишечнике и не достигает толстого кишечника, однако в некоторых исследованиях на животных все же отмечались сдвиги в составе кишечной микробиоты [29]. Xin Dai и соавт. продемонстрировали отрицательное влияние сукралозы у беременных мышей в виде увеличения риска развития неалкогольной жировой болезни печени их потомства, вероятно, связанным с нарушением состава кишечной микробиоты. Авторы доказали, что у потомства мышей, получавших сукралозу, наблюдались нарушения развития кишечника: сокращение числа бокаловидных клеток, изменение состава кишечной флоры (уменьшение численности

бутират-продуцирующих бактерий), снижение экспрессии белка GRP43 в кишечнике, что привело к повышению продукции провоспалительных цитокинов. Авторы связали повреждение печени с попаданием цитокинов через ось «кишечник-печень» в портальную венозную систему [13]. Цикламат и сукралоза могут изменить соотношение между масляной и пропиононовой кислотами (короткоцепочечные жирные кислоты — КЦЖК) [30]. КЦЖК оказывают множественное воздействие на здоровье человека, так, например, масляная кислота обладает антиобезогенным действием, снижает резистентность к инсулину и улучшает показатели липидного обмена [31]. В то же время было проведено параллельное двойное слепое плацебо-контролируемое исследование на здоровых добровольцах, показавшее отсутствие влияния сукралозы на кишечный микробиом, гликемический и инсулиновый ответы [32]. Р. Thompson с соавт. оценили влияние потребления сукралозы на состав микробиоты кишечника здоровых добровольцев, используя метод секвенирования 16S рРНК. Авторы пришли к выводу, что потребление высоких доз сукралозы (75% от допустимой нормы) в течение 7 дней не влияет на гликемический контроль, резистентность к инсулину и кишечную микробиоту, однако вероятно требуется более длительное наблюдение [33]. Сахарин не подвергается метаболизму в желудочно-кишечном тракте, к сожалению, в настоящее время рандомизированные клинические испытания на людях немногочисленны, на животных некоторые исследования показывают негативное влияние сахарина в виде увеличения количества патогенных бактерий. В РКИ с участием 120 здоровых взрослых было отмечено негативное влияние искусственных сахарозаменителей (сукралозы и сахарина) на толерантность к глюкозе, авторы связывают данные изменения с модификацией микробиоты кишечника при использовании подсластителей [34]. Влияние искусственных подсластителей (ИП) на формирование дисбиоза кишечника и вследствие этого развитие нарушений углеводного обмена показано

в исследовании J. Suez и соавт. Так, потребление ИП положительно коррелировало с более высоким уровнем гликированного гемоглобина ($p < 0,002$). У четырех из семи добровольцев, принимавших сахарин в дозировке 5 мг/кг, были отмечены нарушения углеводного обмена ($p < 0,001$). Двое респондентов стали донорами образцов стула до начала приема ИП дня и на седьмой день, далее образцы стула были перенесены мышам. У животных, которым передали микробиоту от респондентов, принимавших ИП, была определена нарушенная толерантность к глюкозе. Авторы пришли к выводу, что модификация кишечного микробиома после употребления ИП и могла стать причиной изменений углеводного обмена [35].

Натуральные высокоинтенсивные подсластители, например, гликозиды стевии не гидролизуются ферментами (α -амилаза, пепсин и др.) желудочно-кишечного тракта, в неизменном виде попадают в толстый кишечник, где расщепляются кишечными бактериями рода *Bacteroides* до стевииола, который поступает в печень подвергается глюкуронированию и выводится из организма [36]. В исследованиях было продемонстрировано положительное влияние экстракта стевии на микробиоту кишечника, в виде стимулирования роста бифидо- и лактобактерий *in vitro*, а также снижение роста *E. coli* у мышей [37, 38].

ВЛИЯНИЕ ПОЛИОЛОВ НА МИКРОБИОТУ КИШЕЧНИКА

Полиолы присутствуют во фруктах, овощах и грибах [39]. В производстве пищевых продуктов наиболее часто используются сорбитол, маннитол, ксилитол, эритриол, мальтитол, лактитол и изомальт. Интересно, что микроорганизмы могут продуцировать сорбитол, маннитол, ксилитол и эритриол естественным путем либо с помощью генной инженерии [40].

Эритриол (эритрит) (рис. 1) — четырехуглеродный сахарный спирт (тетраол) большая часть, которого всасывается в тонком кишечнике и лишь 10% достигают

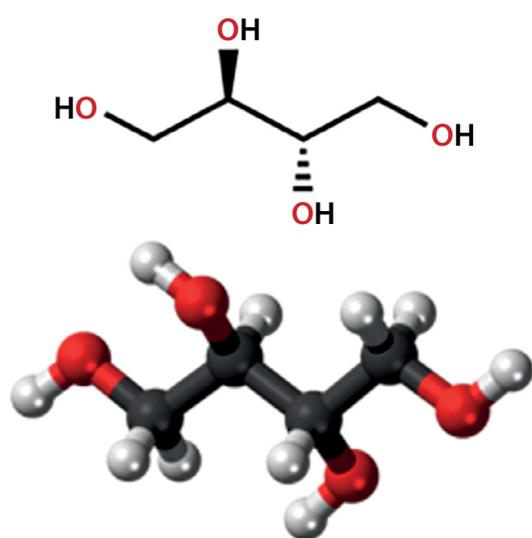


Рисунок 1. Эритриол (эритрит).

Примечание. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for CID 222285, Erythritol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Erythritol>. Accessed Apr. 2, 2024.

Figure 1. Erythritol.

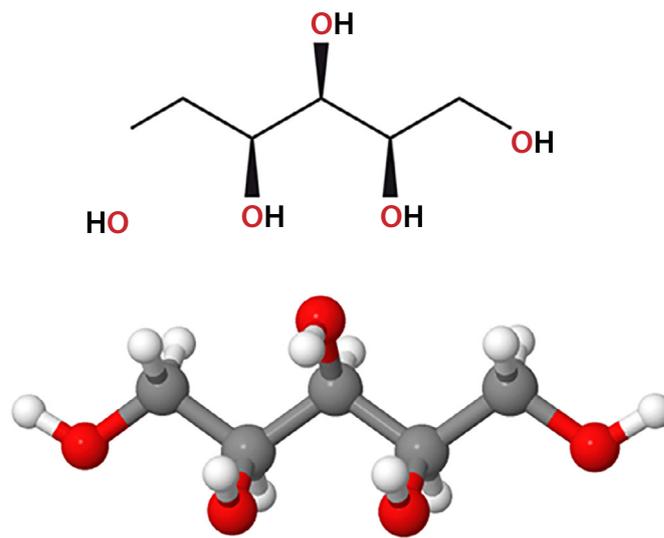


Рисунок 2. Ксилитол (ксилит).

Примечание. National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Summary for , Xylitol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Xylitol>. Accessed Apr. 2, 2024.

Figure 2. Xylitol.

Вид сахарных спиртов (полиолов)	Некоторые дополнительные эффекты	Влияние на микрофлору кишечника	Нежелательные эффекты
Эритриол	↑ КЦЖК	-	-
Лактитол	↑ КЦЖК	↑ Bifidobacterium ↑ Lactobacillus ↑ Akkermansia	-
	↓ pH		
	↑ H ₂ O	↓ Bacteroidetes ↓ Clostridium ↓ Coliforms ↓ Eubacterium	
Мальтитол	-	↑ Bifidobacterium	-
Ксилитол	-	↓ Bacteroidetes ↓ Lactobacillus ↓ C/difficile ↑ Firmicutes	-
Маннитол	↑ КЦЖК	-	
Сорбитол	↑ H ₂ O	-	Осмотический/ слабительный
Изомальг	↓ Бета-глюкозидазы	↑ Bifidobacterium	-

Рисунок 3. Иллюстрация влияния полиолов на бактериальное сообщество кишечника (адаптировано из Ruiz-Ojeda FJ) [46].

Figure 3. Illustration of the effect of polyols on the gut bacterial community (adapted from Ruiz-Ojeda FJ) [46].

толстого кишечника, где, вероятно, подвергаются метаболизму микроорганизмами. В исследованиях *in vitro* показано, что эритрит может влиять на продукцию КЦЖК микробиотой кишечника [41].

Изомальт ферментируется микробиотой толстого кишечника, может выступать в качестве пребиотика и стимулировать рост *Bifidobacterium* [42].

Лактитол, маннитол, как и изомальт, могут выступать в качестве пребиотика, стимулируя рост лакто- и бифидобактерий, выработку КЦЖК [43, 44]. E. Beards и соавт. оценили влияние шоколада с добавлением мальтитола и полидекстрозы у 40 испытуемых. Выяснилось, что в группе, употреблявшей шоколад с мальтитолом, происходило увеличение количества бифидобактерий, лактобактерий и КЦЖК по сравнению с контрольной [45].

Сорбитол активно ферментируется микробиотой толстого кишечника, в связи с чем может вызывать негативные симптомы (вздутие, метеоризм) при приеме более 20 г в сутки. Специфическое действие сорбитола на изменение определенных типов микробиоты на данный момент не установлено.

Ксилитол (рис. 2) — пятиуглеродный полиол (пентаол), содержится во фруктах, ягодах, овощах, овсе и грибах, но также небольшой его процент вырабатывается микробиотой кишечника. Ксилитол при добавлении к диете с высоким содержанием жиров у мышей способствовал уменьшению количества *Bacteroidetes*, *Barnesiella* и увеличению *Firmicutes* и *Prevotella* [39].

Применение полиолов может быть ограничено у пациентов с функциональными нарушениями желудочно-кишечного тракта (например, СРК), так как это может ухудшать течение заболевания.

Таким образом, полиолы как разновидность натуральных низкокалорийных подсластителей в большей степени подвергаются метаболизму кишечной микробиотой, обладают пребиотическим действием, способны влиять на ее состав (рис. 3), продукцию бактериальных метаболитов и оказывать ряд биологических эффектов, которые еще предстоит изучить в исследованиях на людях.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПОДСЛАСТИТЕЛЕЙ НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ РАКОМ И СМЕРТНОСТЬ

В проспективном когортном исследовании NutriNet (2009–2021 гг.) с участием 103 388 человек, которые вели записи 24-часового потребления продуктов и искусственных подсластителей, была выявлена связь между потреблением аспартама, ацесульфама калия и сукралозы с увеличением рисков развития сердечно-сосудистых ($p=0,03$) и цереброваскулярных заболеваний ($p=0,002$) [47]. По данным систематического обзора и метаанализа ВОЗ, чрезмерное потребление искусственных сахарозаменителей и гликозидов стевии связывали с увеличением ИМТ на 0,14 кг/м², риска развития ожирения на 76%, риска развития СД типа 2 на 23%, смертности от всех причин на 12% и увеличение риска развития рака мочевого пузыря на 31%. При умеренном потреблении некалорийных подсластителей связи с развитием ожирения не обнаружено, напротив они могут позволить уменьшить калорийность рациона (на 560 кДж/сут или ~136 ккал), что позволяло снизить массу тела на 0,71 кг [48]. В других крупных метаанализах употребление сахарозаменителей (в том числе

искусственных) не приводило к увеличению риска развития рака различных локализаций [49], а также, по некоторым данным, отмечалось снижение частоты развития некоторых видов рака желудочно-кишечного тракта (при употреблении в предельно допустимых количествах), что, вероятно, связано со снижением количества добавленных сахаров в рационе [50]. Важно отметить, что авторы одного из исследований заявляют о присутствии конфликта интересов [49]. В литературных источниках появляется все больше сообщений о противораковых свойствах гликозидов стевии, а также использовании их в качестве дополнения к противоопухолевой терапии [51].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Искусственные подсластители присутствуют в тысячах брендов продуктов питания и напитков по всему миру, однако их использование остается предметом споров, и в настоящее время некоторые рекомендации пересматриваются Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов, Всемирной организацией здравоохранения и другими инстанциями.

В данном обзоре мы представили исследования, показавшие преимущественно позитивное влияние применения натуральных некалорийных сахарозаменителей на углеводный обмен и снижение массы тела, что делает эти вещества перспективными в плане возможной терапии нарушений углеводного обмена у лиц с ожирением. Натуральные подсластители, такие как полиолы (эритрит, ксилит), могут быть более привлекательными для улучшения контроля гликемии и массы тела у пациентов с ожирением и сахарным диабетом. Помимо низкой калорийности, полиолы благоприятно влияют на секрецию инсулина и кишечных гормонов (ГПП-1, холецистокинин, PYY), что может быть полезным дополнением к лечению метаболического синдрома. Однако все исследования, продемонстрировавшие положительную связь, не являются достаточно длительными.

Результаты некоторых крупномасштабных исследований свидетельствуют о потенциальной прямой связи между более высоким потреблением искусственных подсластителей (особенно аспартама, ацесульфама ка-

лия и сукралозы) с увеличением рисков развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

В настоящее время низкокалорийные подсластители могут применяться взрослыми людьми с сахарным диабетом и ожирением, в рационе которых присутствует чрезмерное количество легкоусвояемых углеводов (сладкие газированные напитки, натуральные соки или морсы, кондитерские изделия). Натуральные подсластители, вероятно, являются безопасной альтернативой сахару при использовании в разрешенных дозах. Еще одним ограничительным моментом применения сахарозаменителей может стать их неприятное послевкусие, недостаточная сладость или отсутствие необходимой текстуры продукта, что ограничивает применение некоторых сахарозаменителей повсеместно. Возможно, целесообразным является использование смеси различных подсластителей для формирования приятного вкуса. Существует вероятность неблагоприятного влияния на пищевое поведение, микробиоту кишечника (у некоторых видов искусственных сахарозаменителей — ацесульфам калия, сукралоза, сахарин) и метаболические показатели (аспартам, ацесульфам калия и сукралоза). Учитывая недостаточную продолжительность проведенных исследований, необходимо дальнейшее изучение каждого в отдельности сахарозаменителя, чтобы проанализировать долгосрочные риски и преимущества их применения у целевых групп населения, а также сравнить возможные различия эффектов в зависимости от типов сахарозаменителей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Данная публикация подготовлена в рамках Государственного задания «Механизмы дезадаптации двухуровневой системы регуляции аппетита при экзогенно-конституциональном ожирении с множественными осложнениями и способы ее коррекции» (НИОКТР № 122012100180-0).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Plaza-Diaz J, Pastor-Villaescusa B, Rueda-Robles A, Abadia-Molina F, Ruiz-Ojeda FJ. Plausible Biological Interactions of Low- and Non-Calorie Sweeteners with the Intestinal Microbiota: An Update of Recent Studies. *Nutrients*. 2020;12(4):1153. doi: <https://doi.org/10.3390/nu12041153>
- Wölnherhanssen BK, Cajacob L, Keller N, et al. Gut hormone secretion, gastric emptying, and glycemic responses to erythritol and xylitol in lean and obese subjects. *Am J Physiol Metab*. 2016;310(11):E1053-E1061. doi: <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00037.2016>
- Nichol AD, Holle MJ, An R. Glycemic impact of non-nutritive sweeteners: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Clin Nutr*. 2018;72(6):796-804. doi: <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0170-6>
- WHO. *Ingesta de Azúcares Para Adultos y Niños*; Organización Mundial de la Salud: Geneva, Switzerland: 2015
- Yebrá-Biurrún MC. Sweeteners. *Encyclopedia of Analytical Science*. 2005; 562–72. doi: <https://doi.org/10.1016/b0-12-369397-7/00610-5>
- U.S. Food and Drug Administration. Additional Information about High-Intensity Sweeteners Permitted for Use in Food in the United States [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fda.gov/food/ingredientspackaginglabeling/foodadditivesingredients/ucm397725.htm>. Accessed 8/13/2018
- International Sweeteners Association. Sweeteners safety and regulation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sweeteners.org/safety-regulation/>
- Walbolt J, Koh Y. Non-nutritive Sweeteners and Their Associations with Obesity and Type 2 Diabetes. *J Obes Metab Syndr*. 2020;29(2):114-123. doi: <https://doi.org/10.7570/jomes19079>
- FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) FAO and WHO [Электронный ресурс]. URL: <https://apps.who.int/foodadditives-contaminants-jecfa-database/>
- Fitch C, Keim KS. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Use of Nutritive and Nonnutritive Sweeteners. *J Acad Nutr Diet*. 2012;112(5):739-758. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.03.009>
- Imamura F, O'Connor L, Ye Z, et al. Consumption of sugar sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juice and incidence of type 2 diabetes: systematic review, meta-analysis, and estimation of population attributable fraction. *Br J Sports Med*. 2016;50(8):496-504. doi: <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-h3576rep>

12. Azad MB, Abou-Setta AM, Chauhan BF, et al. Nonnutritive sweeteners and cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and prospective cohort studies. *Can Med Assoc J*. 2017;189(28):E929-E939. doi: <https://doi.org/10.1503/cmaj.161390>
13. Dai X, Guo Z, Chen D, et al. Maternal sucralose intake alters gut microbiota of offspring and exacerbates hepatic steatosis in adulthood. *Gut Microbes*. 2020;11(4):1043-1063. doi: <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1738187>
14. Rogers PJ, Hogenkamp PS, de Graaf C, et al. Does low-energy sweetener consumption affect energy intake and body weight? A systematic review, including meta-analyses, of the evidence from human and animal studies. *Int J Obes*. 2016;40(3):381-394. doi: <https://doi.org/10.1038/ijo.2015.177>
15. Laviada-Molina H, Molina-Segui F, Pérez-Gaxiola G, et al. Effects of nonnutritive sweeteners on body weight and BMI in diverse clinical contexts: Systematic review and meta-analysis. *Obes Rev*. 2020;21(7). doi: <https://doi.org/10.1111/obr.13020>
16. Peters JC, Beck J, Cardel M, et al. The effects of water and nonnutritive sweetened beverages on weight loss and weight maintenance: A randomized clinical trial // *Obes*. 2015;24 (2):297-304. doi: <https://doi.org/10.1002/oby.21327>
17. Nguyen NQ, Debrececi TL, Bambrick JE, et al. Accelerated Intestinal Glucose Absorption in Morbidly Obese Humans: Relationship to Glucose Transporters, Incretin Hormones, and Glycemia. *J Clin Endocrinol Metab*. 2015;100(3):968-976. doi: <https://doi.org/10.1210/jc.2014-3144>
18. Wölnerhanssen BK, Moran AW, Burduga G, et al. Deregulation of transcription factors controlling intestinal epithelial cell differentiation; a predisposing factor for reduced enteroendocrine cell number in morbidly obese individuals. *Sci Rep*. 2017;7(1):8174. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08487-9>
19. Young RL, Chia B, Isaacs NJ, et al. Disordered Control of Intestinal Sweet Taste Receptor Expression and Glucose Absorption in Type 2 Diabetes. *Diabetes*. 2013;62(10):3532-3541. doi: <https://doi.org/10.2337/db13-0581>
20. Wölnerhanssen BK, Drewe J, Verbeure W, et al. Gastric emptying of solutions containing the natural sweetener erythritol and effects on gut hormone secretion in humans: A pilot dose-ranging study. *Diabetes, Obes Metab*. 2021;23(6):1311-1321. doi: <https://doi.org/10.1111/dom.14342>
21. Wen H, Tang B, Stewart AJ, et al. Erythritol Attenuates Postprandial Blood Glucose by Inhibiting α -Glucosidase. *J Agric Food Chem*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05033>
22. Meyer-Gerspach AC, Drewe J, Verbeure W, et al. Effect of the natural sweetener xylitol on gut hormone secretion and gastric emptying in humans: A pilot dose-ranging study. *Nutrients*. 2021. doi: <https://doi.org/10.3390/nu13010174>
23. Bordier V, Teysseire F, Schlotterbeck G, et al. Effect of a Chronic Intake of the Natural Sweeteners Xylitol and Erythritol on Glucose Absorption in Humans with Obesity. *Nutrients*. 2021;13(11):3950. doi: <https://doi.org/10.3390/nu13113950>
24. Ng AWR, Loh KK, Gupta N, Narayanan K. A polyol-stevia blended sugar replacer exhibits low glycemic response among human subjects. *Clin Nutr ESPEN*. 2019;33:39-41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.07.014>
25. Bundgaard Anker, Rafiq, Jeppesen. Effect of Steviol Glycosides on Human Health with Emphasis on Type 2 Diabetic Biomarkers: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*. 2019;11(9):1965. doi: <https://doi.org/10.3390/nu11091965>
26. Jeppesen PB, Gregersen S, Rolfsen SED, et al. Antihyperglycemic and blood pressure-reducing effects of stevioside in the diabetic Goto-Kakizaki rat. *Metabolism*. 2003;52(3):372-378. doi: <https://doi.org/10.1053/meta.2003.50058>
27. Garcia K, Ferreira G, Reis F, Viana S. Impact of Dietary Sugars on Gut Microbiota and Metabolic Health. *Diabetology*. 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/diabetology3040042>
28. Gerasimidis K, Bryden K, Chen X, et al. The impact of food additives, artificial sweeteners and domestic hygiene products on the human gut microbiome and its fibre fermentation capacity. *Eur J Nutr*. 2020;59(7):3213-3230. doi: <https://doi.org/10.1007/s00394-019-02161-8>
29. Bian X, Chi L, Gao B, Tu P, Ru H, Lu K. The artificial sweetener acesulfame potassium affects the gut microbiome and body weight gain in CD-1 mice. Covasa M, ed. *PLoS One*. 2017;12(6):e0178426. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178426>
30. Vamanu E, Pelinescu D, Gatea F, Sárbu I. Altered in Vitro Metabolomic Response of the Human Microbiota to Sweeteners. *Genes (Basel)*. 2019;10(7):535. doi: <https://doi.org/10.3390/genes10070535>
31. Farup PG, Lydersen S, Valeur J. Are Nonnutritive Sweeteners Obesogenic? Associations between Diet, Faecal Microbiota, and Short-Chain Fatty Acids in Morbidly Obese Subjects. *J Obes*. 2019;2019:1-8. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4608315>
32. Thomson P, Santibañez R, Aguirre C, Galgani JE, Garrido D. Short-term impact of sucralose consumption on the metabolic response and gut microbiome of healthy adults. *Br J Nutr*. 2019;122(8):856-862. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114519001570>
33. Thomson P, Santibañez R, Aguirre C, Galgani JE, Garrido D. Short-term impact of sucralose consumption on the metabolic response and gut microbiome of healthy adults. *Br J Nutr*. 2019;122(8):856-862. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114519001570>
34. Suez J, Cohen Y, Valdés-Mas R, et al. Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell*. 2022;185(18):3307-3328.e19. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.07.016>
35. Suez J, Korem T, Zeevi D, et al. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*. 2014;514(7521):181-186. doi: <https://doi.org/10.1038/nature13793>
36. Kasti A, Nikolaki M, Synodinou K, et al. The Effects of Stevia Consumption on Gut Bacteria: Friend or Foe? *Microorganisms*. 2022;10(4):744. doi: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040744>
37. Sanches Lopes SM, Francisco MG, Higashi B, et al. Chemical characterization and prebiotic activity of fructo-oligosaccharides from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) roots and in vitro adventitious root cultures. *Carbohydr Polym*. 2016;152:718-725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.043>
38. Wang Q-P, Browman D, Herzog H, Neely GG. Non-nutritive sweeteners possess a bacteriostatic effect and alter gut microbiota in mice. *Virology*. 2018;13(7):e0199080. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199080>
39. Tey SL, Salleh NB, Henry J, Forde CG. Effects of aspartame-, monk fruit-, stevia- and sucrose-sweetened beverages on postprandial glucose, insulin and energy intake. *Int J Obes*. 2017;41(3):450-457. doi: <https://doi.org/10.1038/ijo.2016.225>
40. Rice T, Zannini E, K. Arendt E, Coffey A. A review of polyols — biotechnological production, food applications, regulation, labeling and health effects. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(12):2034-2051. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1625859>
41. Mahalak KK, Firman J, Tomasula PM, et al. Impact of Steviol Glycosides and Erythritol on the Human and Cebus apella Gut Microbiome. *J Agric Food Chem*. 2020;68(46):13093-13101. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06181>
42. Jiang L, Xie M, Chen G, Qiao J, Zhang H, Zeng X. Phenolics and Carbohydrates in Buckwheat Honey Regulate the Human Intestinal Microbiota. *Evidence-Based Complement Altern Med*. 2020;2020:1-11. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/6432942>
43. Nath A, Haktanirlar G, Varga Á, et al. Biological Activities of Lactose-Derived Prebiotics and Symbiotic with Probiotics on Gastrointestinal System. *Medicina (B Aires)*. 2018;54(2):18. doi: <https://doi.org/10.3390/medicina54020018>
44. Maekawa M, Maekawa M, Ushida K, et al. Butyrate and propionate production from D-mannitol in the large intestine of pig and rat. *Microb Ecol Health Dis*. 2005;17(3):169-176. doi: <https://doi.org/10.1080/08910600500430730>
45. Beards E, Tuohy K, Gibson G. A human volunteer study to assess the impact of confectionery sweeteners on the gut microbiota composition. *Br J Nutr*. 2010;104(5):701-708. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114510001078>
46. Ruiz-Ojeda FJ, Plaza-Díaz J, Sáez-Lara MJ, Gil A. Effects of Sweeteners on the Gut Microbiota: A Review of Experimental Studies and Clinical Trials. *Adv Nutr*. 2019;10:S31-S48. doi: <https://doi.org/10.1093/advances/nmy037>
47. Debras C, Chazelas E, Sellem L, et al. Artificial sweeteners and risk of cardiovascular diseases: results from the prospective NutriNet-Santé cohort. *BMJ*. September 2022:e071204. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-071204>
48. WHO. *Health Effects of the Use of Non-Sugar Sweeteners: A Systematic Review and Meta-Analysis*; 2022

49. Chappell GA, Heintz MM, Borghoff SJ, Doepker CL, Wikoff DS. Lack of potential carcinogenicity for steviol glycosides - Systematic evaluation and integration of mechanistic data into the totality of evidence. *Food Chem Toxicol.* 2021;150:112045. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112045>
50. Tepler A, Hoffman G, Jindal S, Narula N, Shah SC. Intake of artificial sweeteners among adults is associated with reduced odds of gastrointestinal luminal cancers: a meta-analysis of cohort and case-control studies. *Nutr Res.* 2021;93:87-98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.07.007>
51. Iatridis N, Kougioumtzi A, Vlataki K, Papadaki S, Magklara A. Anti-Cancer Properties of Stevia rebaudiana; More than a Sweetener. *Molecules.* 2022;27(4):1362. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27041362>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]:

***Силина Наталья Валерьевна [Natalia V. Silina, MD];** адрес: Россия, 117036, Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11 [address: 11 Dm.Ulyanova street, 117036 Moscow, Russia]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6170-6603>; e-mail: similnatav@mail.ru

Мазурина Наталия Валентиновна, д.м.н. [Natalya V. Mazurina, MD, PhD];
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8077-9381>; eLibrary SPIN: 9067-3062; e-mail: natalyamazurina@mail.ru

Ершова Екатерина Владимировна, к.м.н. [Ekaterina V. Ershova, MD, PhD];
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6220-4397>; eLibrary SPIN: 6728-3764; e-mail: Ershova.Ekaterina@endocrincentr.ru

Комшилова Ксения Андреевна, к.м.н. [Kseniya A. Komshilova, MD, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6624-2374>;
eLibrary SPIN: 2880-9644; e-mail: kom-ksusha@rambler.ru

ЦИТИРОВАТЬ:

Силина Н.В., Мазурина Н.В., Ершова Е.В., Комшилова К.А. Влияние сахарозаменителей на углеводный обмен, метаболические показатели и кишечную микробиоту // Ожирение и метаболизм. — 2024. — Т. 21. — №1. — С. 58-67. doi: <https://doi.org/10.14341/omet13020>

TO CITE THIS ARTICLE:

Silina NV, Mazurina NV, Ershova EV, Komshilova KA. The effect of sweeteners on carbohydrate metabolism, metabolic parameters and intestinal microbiota. *Obesity and metabolism.* 2024;21(1):58-67. doi: <https://doi.org/10.14341/omet13020>