

Зерновые и здоровье ребенка

А.И. Хавкин¹, Т.А. Ковтун², Д.В. Макаркин², О.Б. Федотова³, О.Н. Комарова¹¹ОСП «Научно-исследовательский клинический институт педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева» ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия;²АО «ПРОГРЕСС», Москва, Россия;³ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», Москва, Россия

Cereals and children's health

A.I. Khavkin¹, T.A. Kovtun², D.V. Makarkin², O.B. Fedotova³, O.N. Komarova¹¹Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;²PROGRESS JSC, Moscow, Russia;³All-Russian Scientific Research Institute of the Dairy Industry, Moscow, Russia

Злаковые культуры — один из основных источников энергии, сложных углеводов, растительных белков и жиров, а также витаминов, минералов и других важных биологически активных соединений, используемых в ежедневном рационе. Неоспоримая польза для здоровья диктует целесообразность включения этих продуктов в рацион человека. В период активного роста и развития головного мозга недопустимы гипогликемические состояния, которые могут приводить к нарушению его функционирования; для поддержания нормогликемии, особенно после ночного голодания, важен прием завтрака, включающего злаковые. Это особенно важно для созревания мозга у детей с последующим долгосрочным влиянием на развитие когнитивных функций. Злаковые культуры, обогащенные триптофаном, полезны для коррекции цикла сон—бодрствование у детей, особенно раннего возраста, а также оказывают положительное влияние на настроение. Употребление цельнозерновых продуктов связано и с более низким риском развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, ожирения, рака толстой кишки, что обусловлено пребиотическим эффектом.

Ключевые слова: дети, злаковые, пребиотики, когнитивное развитие, нарушение сна, цельное зерно.

Для цитирования: Хавкин А.И., Ковтун Т.А., Макаркин Д.В., Федотова О.Б., Комарова О.Н. Зерновые и здоровье ребенка. Рос вестн перинатол и педиатр 2020; 65(4): 162–169. DOI: 10.21508/1027-4065-2020-65-4-162-169

Cereals are one of the main sources of energy, complex carbohydrates, vegetable proteins and fats, as well as vitamins, minerals and other important biologically active compounds used in everyday diets. The undeniable health benefits makes these products necessary in the human diet. Hypoglycemic conditions are unacceptable in the period of active growth and development of the brain, as they can disrupt its functioning; to maintain normoglycemia, especially after nightly fasting, it is important to have breakfast with cereals. This is especially important for brain maturation in children with subsequent long-term impact on the development of cognitive functions. Tryptophan-enriched cereals are useful for correcting the sleep—waking cycle in children, especially young children, and also they have a positive effect on mood. Whole grains products help to reduce the risk of cardiovascular diseases, diabetes mellitus, obesity, colon cancer, due to their prebiotic effect.

Key words: children, cereals, prebiotics, cognitive development, sleep disturbance, whole grains.

For citation: Khavkin A.I., Kovtun T.A., Makarkin D.V., Fedotova O.B., Komarova O.N. Cereals and children's health. Ros Vestn Perinatol i Peditr 2020; 65(4): 162–169 (in Russ). DOI: 10.21508/1027-4065-2020-65-4-162-169

Зерновые культуры — группа возделываемых растений, дающих зерно — сырье для производства крупы, одного из основных продуктов в рационе питания человека. Зерновые культуры подразделяются на хлебные и зернобобовые. Большинство хлебных зерновых культур (пшеница, рожь, рис, овес, ячмень, кукуруза, сорго, просо, чумиза, могар, пайза, дагусса и др.) принадлежит к ботаническому

семейству Злаки (лат. *Gramineae*); гречиха — к семейству Гречишные (лат. *Polygonaceae*); мучнистый амарант — к семейству Амарантовые (лат. *Amaranthaceae*). Зернобобовые культуры принадлежат к семейству Бобовые (лат. *Fabaceae*, или *Fabaceae s.l.*, или *Leguminosae*, или *Papilionaceae*). Иногда под зерновыми культурами могут подразумеваться только хлебные зерновые культуры — злаки и злакоподобные.

© Коллектив авторов, 2020

Адрес для корреспонденции: Хавкин Анатолий Ильич — д.м.н., проф., гл. науч. сотр. отдела гастроэнтерологии Научно-исследовательского клинического института педиатрии им. академика Ю.Е. Вельтищева, ORCID: 0000-0001-7308-7280 e-mail: gastropedclin@gmail.com

Комарова Оксана Николаевна — к.м.н., врач-гастроэнтеролог, диетолог Научно-исследовательского клинического института педиатрии имени академика Ю.Е. Вельтищева, ORCID: 0000-0002-3741-8545 125412 Москва, ул. Талдомская, д. 2

Ковтун Татьяна Анатольевна — к.м.н., медицинский советник АО «ПРОГРЕСС», ORCID: 0000-0002-0303-6899

Макаркин Дмитрий Васильевич — к.т.н., дир. департамента инноваций и управления изменениями АО «ПРОГРЕСС» 115172 Москва, ул. Гончарная, д. 21, ORCID ID: 0000-0001-8119-5388 e-mail: dmakarkin@mail.ru

Федотова Ольга Борисовна — д.т.н., ученый секретарь, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности 115093 Москва, ул. Люсиновская, д. 35, ORCID ID: 0000-0002-7348-6019 e-mail: vnimi-fedotova@yandex.ru

Переход к оседлому образу жизни приблизительно 12 тыс. лет назад, связанному с развитием земледелия, обусловил более активное обогащение рациона человека крупами из зерновых. В настоящее время они расцениваются не только как важная составляющая пищи, но и как один из наиболее важных источников энергии, сложных углеводов, растительных белков и жиров, а также витаминов, минералов и других важных биологически активных соединений, необходимых для поддержания здоровья [1].

Состав зерна. Углеводный компонент зерна на 60–70% представлен крахмалом, остальное — сахара. Больше всего разнообразных по составу сахаров содержится в ячмене и пшенице. Например, в пшеничном зерне преобладает сахароза, содержатся глюкоза, фруктоза, мальтоза и раффиноза. Зерна злаковых содержат в среднем от 7 до 16% растительных белков и от 0,7 до 6% жиров. При этом различные части зерна служат источниками разнообразных веществ.

Зерно состоит из эндосперма, зародыша и оболочки. *Эндосперм* — часть зерна, которая остается после его очистки и содержит крахмал, жир (25%), сахара (до 80%) и белок (до 85%). В естественных условиях белки эндосперма и крахмал предназначены для обеспечения потребностей развивающегося зародыша. *Зародыш* — маленькое образование, которое содержит метаболические белки (ферменты и их ингибиторы), жиры, витамины, микронутриенты. Снаружи зерно покрывает плотная защитная *оболочка*, которая предохраняет его от повреждения. Защитная оболочка состоит из структурных белков и на 75% из клетчатки — пищевых волокон, олигосахаридов, а также лигнинов [2, 3]. Пищевые волокна и олигосахариды оказывают позитивный эффект на здоровье человека: способствуют снижению уровня холестерина, нормализации уровня глюкозы и инсулина, улучшению пищеварения и уменьшению риска развития некоторых видов рака желудочно-кишечного тракта [3]. Лигнины обладают выраженными антиоксидантными и фитоэстрогенными свойствами [4]. Между оболочкой и эндоспермом располагается *алеироновый слой*, богатый жирами, в составе которых содержатся в основном ненасыщенные жирные кислоты — олеиновая и линолевая — важные составляющие регуляции липидного обмена.

Основная часть минеральных веществ сосредоточена в оболочках, алеироновом слое зерна, зародыше и представлена фосфором, калием и магнием. Количество минеральных веществ в зерне изменяется в широких пределах и зависит от почвы, климата, удобрений, сорта и вида растения. Цельное зерно содержит в своем составе почти все витамины, необходимые человеку: тиамин, рибофлавин, пиридоксин, пантотеновую кислоту, ниацин, биотин, аскорбиновую кислоту, витамины D, E и каротиноиды.

Витамин E, токоферолы и токотриенолы находятся в злаках в разных пропорциях и сосредоточены в зародышевой фракции зерна [4]. Важная функция витамина E в организме состоит в поддержании целостности клеточных мембран, благодаря его высокой антиоксидантной активности. В зерне содержится лютеин, зеаксантин, β -криптоксантин, β -каротин, α -каротин [5]. Каротиноидные пигменты, α -каротин и β -каротин преимущественно содержатся в зародыше, а лютеин распределяется равномерно во всех частях семени [3, 6, 7]. β -Каротин является обязательным предшественником витамина A, который не может синтезироваться в организме *de novo* [8]. Он обладает антиоксидантными свойствами [9]. Каротиноиды эффективны для профилактики возрастной макулярной дегенерации и некоторых видов рака [10–13].

Цельные зерна содержат растительные фенольные кислоты, которые обеспечивают химическую защиту растений от возбудителей болезней, паразитов и хищников [14]. Идентифицировано несколько классов фенольных соединений, в том числе производных бензойной и коричной кислот: феруловая, ванилиновая, кофейная, сириговая, кумаровая кислоты, антоцианы, флавоны, флаванолы, аминок- и фенольные соединения и др. [15]. Эти соединения находятся в связанной и свободной форме [16]. Феруловая кислота — одна из наиболее изученных фенольных кислот цельного зерна [17, 18]. Она в большом количестве содержится в алеироновом слое, зародыше и клеточных оболочках, в следовых количествах — в эндосперме. Кроме того, феруловая кислота преобладает среди фенольных соединений и известна своими антибактериальными и антиоксидантными свойствами [18].

Термическая обработка и фрезерование позволяют сделать фитохимические вещества более доступными. Связанные фенольные соединения освобождаются в процессе пищеварения, что позволяет им оказывать положительное как локальное, так и системное воздействия на функциональное состояние организма. Так, в исследованиях M.F. Andreassen и соавт. [19] было показано, что эстеразы желудочно-кишечного тракта человека освобождают феруловую кислоту из отрубей зерновых, способствуя снижению риска развития колоректального рака. Больше всего фенольных кислот содержится в кукурузе, меньше в пшенице, овсе и рисе, соответственно 265, 136, 111 и 95 мг на 100 г [20].

В различных семенах зернобобовых культур накапливаются антоциановые пигменты [21–24]. Их роль изучена у таких зерновых, как рис, кукуруза, твердые и мягкие сорта пшеница. Антоцианы вносят свой вклад в неспецифическую устойчивость к болезням растений и играют роль в их реакции на биотический и абиотический стресс, обладают антиоксидантными свойствами и участвуют в фотозащите семян [25–27]. В исследованиях с использованием лабораторных животных выявлен противовоспалительный, антимикробный и антиканцерогенный эффект

антоцианов [28, 29]. Благодаря их антиоксидантным свойствам снижается риск поражения кровеносных сосудов и развития ишемической болезни сердца [2, 30–32]. Кроме того, суммирование аддитивного и синергического эффектов биологически активных фитохимических веществ происходит при употреблении цельнозерновых продуктов в сочетании с овощами и фруктами [14, 15].

Важный компонент цельного зерна — растительные стеролы и станолы, которые в норме подавляют поглощение холестерина и способствуют увеличению его экскреции, тем самым регулируя уровень в крови. В целом увеличение потребления зерна сопряжено с повышенным потреблением фитостерина, что потенциально способствует снижению уровня холестерина и нивелированию его отрицательных эффектов [2].

В зерновых содержатся и антинутриенты (фитиновая кислота, дубильные вещества и ингибиторы ферментов). Их функция — общий защитный эффект для зерна [2, 3]. Фитиновая кислота образует хелатные комплексы с металлами, подавляя окислительно-восстановительные реакции, катализируемые железом, а также связанные с окислительным повреждением. Кроме того, она защищает энтероциты, вступая в химическую реакцию с окислителями, которые вырабатываются кишечной микробиотой. Ингибиторы протеазы, фитиновая кислота, фенольные кислоты, а также сапонины, содержащиеся в цельном зерне, предположительно снижают риск развития колоректального рака и рака молочной железы. Показано, что фитиновая кислота, лектины, фенольные кислоты, ингибиторы амилазы, сапонины снижают уровень глюкозы, инсулина, холестерина и триглицеридов в плазме крови [3].

Важно подчеркнуть, что почти до конца XIX века в пищу употребляли только цельнозерновые крупы. Однако в эпоху промышленной революции были разработаны технологии получения рафинированной муки, с улучшенной текстурой, вкусом и длительным сроком хранения [33]. Рафинирование — это процесс удаления из зерна отрубей и зародыша. Причем отруби удаляются, чтобы освободить зерно от волокнистых и потенциально горьких компонентов [34]. При этом жир, сосредоточенный в зародыше, может прогоркнуть. Поэтому его удаление увеличивает срок годности зернового продукта. К сожалению, вместе с отрубями и зародышем из зерна удаляются биологически активные вещества и клетчатка [35, 36]. Например, очищенная пшеничная мука теряет до 83% фенольных кислот, 79% флавоноидов, 93% феруловой кислоты, 78% зеаксантина и 42–51% β -криптоксантина [15].

Влияние злаковых на показатели здоровья. Доказано, что тип потребляемой крупы — цельное зерно или рафинированное — оказывает влияние на состояние здоровья. Так, значительное потребление

цельнозерновых продуктов обуславливает более низкий риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, ожирения, колоректального рака [37]. Метаанализ, проведенный Х. Ма и соавт. [38], выявил отрицательную корреляцию между употреблением цельного зерна и смертностью. Очевидная польза диктует необходимость включения цельнозерновых продуктов в рацион во всех возрастных группах.

Преимущество употребления цельнозерновых злаков взрослыми и детьми старше двух лет признано ВОЗ [39–41]. Однако до сих пор нет общих рекомендаций относительно ежедневной квоты цельнозерновых продуктов в рационе [42]. Одна из главных проблем при употреблении цельнозерновых продуктов является их низкая усвояемость по сравнению с рафинированными зерновыми продуктами [43]. Пилотное исследование М.Г. Ferruzzi и соавт. [43] показало, что дети в возрасте 18–24 мес легче адаптировались к новым продуктам. Поэтому ряд ученых считают эффективным постепенное введение продуктов из цельного зерна в рацион детей именно в период от 1,5 до 2 лет. Таким образом, достигается важная цель — приобщение детей к здоровой пище.

Однако следует принимать во внимание риски при использовании цельного зерна: по сравнению с очищенным рисом цельное зерно риса имеет более высокое содержание неорганического мышьяка, который концентрируется в отрубном слое [44]; избыточное содержание клетчатки может иметь негативное влияние на биодоступность минералов в кишечнике [44].

Кроме того, основные зерновые культуры (например, пшеница) часто содержат субоптимальные количества микроэлементов, особенно железа и цинка. В регионах, где рацион человека состоит в основном из злаков, это приводит к дефицитным состояниям. Так, по оценкам экспертов ВОЗ, приблизительно 25% населения планеты страдают от анемии [45], а 20% часть испытывают дефицит цинка, что, по данным К.Р. Wessells и соавт. [46], коррелирует с отставанием в росте у детей до 5-летнего возраста ($p=0,48$; $p<0,001$).

Эффективность обогащения зерна микронутриентами. Существует ряд способов увеличить квоту полезных веществ в рационе человека. Например, путем увеличения содержания макро- и микроэлементов в самих культурах. С этой целью выводятся новые сорта злаковых путем селекции, вводятся минеральные удобрения в почву, обогащается зерно минеральными добавками в послеуборочный период. Для уменьшения потерь при рафинировании зерна его обогащают рибофлавином, ниацином, тиамин, фолатом, железом и кальцием [47].

Обогащение продуктов питания, в частности молока и зерновых, витаминами, макро- и микронутриентами особенно актуально для детей первых 2 лет жизни в развивающихся странах, поскольку в данной

возрастной группе дефицит представляет серьезную проблему. Так, К. Eichler и соавт. [48] в систематическом обзоре и метаанализе провели оценку влияния обогащенных молока и злаковых на показатели здоровья детей в возрасте от 6 мес до 5 лет по сравнению с обычным питанием. Было показано, что обогащение продуктов — эффективное средство ликвидации анемии у детей до 3 лет. При этом обогащение микроэлементным комплексом, в составе которого содержалось железо, оказалось более эффективным, чем обогащение только железом, в повышении уровня гемоглобина и уменьшало риск развития анемии на 57%. Авторы подчеркивают, что витаминизация повышает уровень каротиноидов в сыворотке крови [48].

Влияние зерновых на цикл сон—бодрствование. Доказано, что диета оказывает влияние на ритм сон—бодрствование, благодаря увеличению в рационе незаменимой аминокислоты триптофана. Триптофан — предшественник серотонина и мелатонина, синтезируемых в головном мозге. Мелатонин вырабатывается шишковидной железой из серотонина в основном в темное время суток [49]. Результатом употребления перед сном молочной каши, обогащенной триптофаном, является улучшение ночного сна [50, 51]. В частности, у детей в возрасте 8–16 мес с нарушениями сна, выражавшимися в более 3 ночных пробуждениях, при кормлении кашей, обогащенной триптофаном, улучшилось качество и увеличилась продолжительность сна [52]. Однако с возрастом ухудшается транспорт триптофана через гематоэнцефалический барьер и уменьшается активность триптофангидроксилазы, которая катализирует конечную стадию биосинтеза как серотонина, так и мелатонина [53, 54].

Серотонинергическая система участвует в контроле сна, настроения и познания. Однако с возрастом происходят изменения в синтезе и секреции серотонина, и дисфункциональные изменения серотонинергической системы могут привести к депрессии, тревожным, когнитивным, биполярным и обсессивно-компульсивным расстройствам [55].

R. Bravo и соавт. провели исследование, в результате которого было выявлено влияние зерновых, обогащенных триптофаном, на цикл сон—бодрствование, депрессию и тревожность у 35-летних пациентов и у пожилых людей в возрасте 55–75 лет. В течение 1-й недели участники употребляли стандартные крупы на завтрак и ужин (содержание триптофана 22,5 мг в 30 г крупы). На 2-й неделе крупы обогащались более высокими дозами триптофана (60 мг на 30 г крупы). На 3-й неделе волонтеры не употребляли крупы. Каждый участник носил на запястье актиметр — прибор, регистрировавший все параметры активности, были собраны образцы мочи для анализа уровня мелатонина и метаболитов серотонина, измерения общей антиоксидантной активности. Все исследуемые параметры были неизменными и иден-

тичными при употреблении необогащенных злаковых и в отсутствие злаковых в питании соответственно на 1-й и 3-й неделях. Употребление зерновых культур, содержащих более высокую дозу триптофана, повышало фактическое время сна, снижало ночную активность, уменьшало тревожность. Количество 6-сульфатоксимелатонина, 5-гидроксииндолуксусной кислоты и общая антиоксидантная активность в моче также увеличивались после употребления злаковых, обогащенных триптофаном. Таким образом, показано, что зерновые, обогащенные триптофаном, могут быть полезны для коррекции цикла сон—бодрствование, оказывают положительное влияние на настроение [56].

Примером молочно-зерновых продуктов служат жидкие молочные каши «ФрутоНяня», которые сочетают в себе молочный компонент (молоко и/или йогурт сухой) и муку из зерновых: пшеницы, риса, овса, гречки, кукурузы. Ряд жидких молочных кашек «ФрутоНяня» дополняют натуральные пюре из фруктов и/или ягод, что помогает разнообразить рацион, познакомить ребенка с новыми вкусами. Все жидкие каши «ФрутоНяня» обогащены пребиотиком инулином, который оказывает положительное влияние на состав микрофлоры кишечника, улучшает всасывание ряда минеральных веществ, например кальция, и способствует более комфортному пищеварению.

Влияние зерновых на когнитивное развитие. Уровень метаболизма глюкозы в головном мозге детей увеличивается в период от рождения до 4 лет, вдвое превосходя скорость метаболизма глюкозы у взрослых, что обусловлено активным формированием нейрональных связей [57, 58]. Так, потребности мозга в глюкозе у недоношенных новорожденных составляют 5 мг/кг/мин, у доношенных — 3–5 мг/кг/мин, у взрослых — 2–3 мг/кг/мин. Эндогенная продукция глюкозы по результатам измерения с использованием стабильных изотопов составляет 5–8 мг/кг/мин.

Таким образом, большая часть эндогенно продуцируемой глюкозы у новорожденных расходуется на потребности метаболизма мозга. Более того, существует корреляция между объемом продукции глюкозы и массой мозга в различные возрастные периоды, которая существенно меняется после достижения 40 кг массы тела. Это соответствует времени прекращения роста мозга. Для сравнения, мозг взрослого человека составляет около 2% от массы тела, потребляя примерно 1/5 всей энергии. По данным Т. Chugani и соавт. [59], метаболизм глюкозы у детей остается повышенным до 9–10 лет, постепенно снижаясь до уровня взрослого человека к концу подросткового периода.

Большая часть потребляемой мозгом глюкозы используется для поддержания мембранного потенциала нейронов в покое, поэтому стабильное поступление этого соединения имеет большое значение для нейронов [60]. В период активного роста и раз-

вития головного мозга недопустимы гипогликемические состояния, которые могут приводить к нарушению его функционирования. Одним из основных способов поддержания нормогликемии служит регулярный прием пищи. Причем 4–6-кратный прием пищи в сутки более важен для детей, чем для взрослых [61]. Особое место занимает завтрак, который обеспечивает глюкозой головной мозг утром после ночного голодания, сопряженного с истощением запасов гликогена [61].

A.S. Donin и соавт. [62] продемонстрировали необходимость завтрака. У детей в возрасте 9–10 лет, которые не завтракали каждый день, отмечались более высокие, чем у детей, получающих завтраки ежедневно, уровни маркеров риска развития сахарного диабета 2-го типа и сердечно-сосудистых заболеваний. Более низкая резистентность к инсулину отмечалась у детей, которые употребляли на завтрак крупы с высоким содержанием клетчатки, по сравнению с теми, у кого завтрак состоял из хлопьев с низким содержанием волокон. Взаимосвязи с социально-экономическим статусом, физической активностью, ожирением обнаружено не было [62]. R. Theodore и соавт. определили наличие связи между употреблением отдельных продуктов питания детьми в 3,5 года и теми же детьми в 7-летнем возрасте, их когнитивным развитием. Исследователи обнаружили, что более высокий уровень потребления рыбы, хлеба и круп в 3,5 года был связан с более высоким коэффициентом умственного развития (IQ) в 7-летнем возрасте [63].

Отмечено влияние качества завтрака на когнитивное развитие детей [64]. Для анализа взаимосвязи между употреблением на завтрак определенного продукта — риса или хлеба, объемом серого вещества мозга и IQ у 290 здоровых детей было использовано магнитно-резонансное изображение и морфометрия. Группа детей, употребляющих рис на завтрак, имела значительно больший коэффициент серого вещества (объем серого вещества в процентах, деленный на внутричерепной объем) и значительно более крупные региональные объемы серого вещества в нескольких областях, в том числе левой верхней височной извилине. Дети, употреблявшие хлеб, имели значительно более крупные региональные объемы серого и белого вещества, в том числе в правой лобно-теменной области. IQ был значительно выше у детей, потреблявших рис, чем у тех, кто завтракал хлебом [64]. Вареный белый рис и белый хлеб содержат большое количество углеводов, служат источником макроэлементов и имеют высокий уровень метаболизма в организме человека. Поэтому один из возможных механизмов, лежащих в основе различий между двумя группами, состоит в гликемическом индексе риса и хлеба. Гликемический индекс японского отварного белого риса ниже, чем у белого хлеба (68 и 100 соответственно), а употребление продуктов с низким гликемическим

индексом связано с меньшими колебаниями уровня глюкозы в крови [65]. Таким образом, употребление продуктов с низким гликемическим индексом обеспечивает более стабильную и эффективную доставку глюкозы к головному мозгу, чем продукты с высоким гликемическим индексом. В обзоре B. Edefonti и соавт. [66] также определено, что низкий постпрандиальный гликемический ответ полезен для формирования когнитивных функций. Таким образом, эффективное поступление глюкозы имеет большое значение для созревания и развития мозга у детей, а тип завтрака может иметь долгосрочное влияние на когнитивное развитие [64].

Белки зерновых и целиакия. Традиционно белки зерновых подразделяются на 2 группы: глюteniны и проламины. Глюteniны относятся к структурным (биологически активным) белкам, богаты дисульфидными связями и имеют значительную молекулярную массу. Проламины служат запасными белками и содержатся в зерне и муке преимущественно в виде простых и небольших молекул. В различных злаковых проламины имеют свои названия: в пшенице — глиадин, ржи — секалин, ячмене — гордеин, овсе — авенин, кукурузе — зеин, пшене — кафирин, рисе — оризин. Фракция проламинов в пшенице наиболее значительна и составляет 3–6 г/100 г муки. Поскольку пшеница это наиболее часто употребляемый в пищу зерновая культура, то, соответственно, глиадин изучен наиболее полно как фактор агрессии в отношении клеток слизистой оболочки тонкой кишки у больных целиакией [67].

Нередко все токсичные для больных целиакией белки злаковых для краткости обозначаются термином «глютен». Название «проламин» отражает характеристики аминокислотного состава, а именно высокое содержание пролина и глутамина, определяющих токсичность глиадина, секалина и гордеина. Проламины риса, проса и кукурузы содержат меньше глутамина и пролина, зато больше лейцина и аланина; авенин овса занимает среднее положение. Следует отметить, что наиболее «токсичные» злаки имеют самое близкое родство: в обширном семействе злаков (*Gramineae*) и подсемействе *Festucoideae* пшеница, рожь и ячмень относятся к одному роду *Hordeae*. Таким образом, пропорции аминокислот глутамина и пролина отражают их токсичность. К общей характеристике проламинов можно добавить низкое содержание эссенциальных аминокислот: метионина, лизина и триптофана, что резко снижает биологическую ценность проламинов в целом, а с точки зрения нутрициологии определяет полное отсутствие вреда при их исключении из питания.

С момента открытия в 50-х годах прошлого века роли глиадина в развитии целиакии начались поиски его токсичных фрагментов и фракций. По электрофоретической подвижности выделяют 30–50 фракций глиадина, но только часть из них оказывает

повреждающее действие на слизистую оболочку тонкой кишки. Это *a*-, *b*-, *g*-, *w*-фракции, которые при добавлении к культуральной среде энтероцитов пациентов с целиакией вызывают их повреждение [67–69]. Анализ пептидов в токсичных фракциях глина выявил общие N-концевые фрагменты, включающие аминокислотные последовательности -про-сер-глю-глю- и -глю-глю-глю-про-, которые содержат глютамин и пролин, определяющие их токсические свойства [68]. Именно пролин играет ключевую роль в определении структуры, иммуногенности, устойчивости к протеолизу. Исследования, проведенные *in vitro* и *in vivo*, позволяют констатировать повреждающий потенциал определенных фрагментов молекул злаковых белков для людей, предрасположенных к целиакии [70–72].

Глютенины по своему аминокислотному составу содержат меньше пролина и глютамина. Тем не менее они также могут оказывать токсическое действие

на слизистую оболочку тонкой кишки [67, 73–75]. В настоящее время роль глютена в развитии целиакии не вызывает сомнений, поэтому основным методом лечения целиакии признана пожизненная диета с полным исключением из рациона пшеницы, ржи, ячменя и продуктов, включающих эти злаковые.

Заключение

Зерновые продукты — не только важные источники энергии, питательных и биологически активных веществ. Их употребление оказывает долгосрочное влияние на когнитивное развитие, может быть полезно для изменения цикла сон–бодрствование, а также способствует снижению риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, ожирения и колоректального рака кишки. Очевидная польза для здоровья диктует необходимость включения зерновых продуктов в рацион, особенно детей раннего возраста.

ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. *Topping D.* Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *J Cereal Sci* 2007; 46: 220–229. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.06.004
2. *Okarter N., Liu R.H.* Health benefits of whole grain phytochemicals. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2010; 50: 193–208. DOI: 10.4172/2155-9600.1000191
3. *Digesù A.M., Platani C., Cattivelli L., Mangini G., Blanco A.* Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *J Cereal Sci* 2009; 50: 210–218. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.05.002
4. *Okarter N., Liu R.H.* Health benefits of whole grain phytochemicals. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2010; 50: 193–208. DOI: 10.1080/10408390802248734
5. *Adom K.K., Sorrells M.E., Liu R.H.* Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *J Agric Food Chem* 2005; 53: 2297–2306. DOI: 10.1021/jf048456d
6. *Borrelli G.M., De Leonardi A.M., Platani C., Troccoli A.* Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. *J Cereal Sci* 2008; 48: 494–502. DOI: 10.1016/j.jcs.2007.11.007
7. *Abdel-Aal E.M.S., Young J.C., Rabalski I., Hucl P., Fregeau-Reid J.* Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *J Agric Food Chem* 2007; 55: 787–794. DOI: 10.12691/ijcd-5-2-6
8. *Yeum K.J., Russell R.M.* Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annu Rev Nutr* 2002; 22: 483–504. DOI: 10.1146/annurev.nutr.22.010402.102834
9. *Mueller L., Boehm V.* Antioxidant activity of β -carotene compounds in different *in vitro* assays. *Molecules* 2011; 16: 1055–1069. DOI: 10.3390/molecules16021055
10. *Rao A.V., Rao L.G.* Carotenoids and human health. *Pharmacol Res* 2007; 55: 207–216. DOI: 10.1016/j.phrs.2007.01.012
11. *Landrum J.T., Bone R.A.* Dietary lutein & zeaxanthin: Reducing the risk for macular degeneration. *Agron Food Ind Hi-Tech* 2004; 15: 22–25.
12. *Singh P., Goyal G.K.* Dietary lycopene: Its properties and anticarcinogenic effects. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2008; 7: 255–270. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00044.x
13. *Nishino H., Murakoshi M., Tokuda H., Yoshiko S.* Cancer prevention by carotenoids. *Arch Biochem Biophys* 2009; 483: 165–168. DOI: 10.3390/agriculture3010170
14. *Liu R.H.* Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *J Nutr* 2004; 134: S3479–S3485.
15. *Adom K.K., Sorrells M.E., Liu R.H.* Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *J Agric Food Chem* 2005; 53: 2297–2306. DOI: 10.1021/jf048456d
16. *Adom K.K., Liu R.H.* Antioxidant activity of grains. *J Agric Food Chem* 2002; 50: 6182–6187.
17. *Smith M.M., Hartley R.D.* Occurrence and nature of ferulic acid substitution of cell wall polysaccharides in gramineous plants. *Carbohydr Res* 1983; 118: 65–80.
18. *Klepacka J., Fornal E.* Ferulic acid and its position among the phenolic compounds of wheat. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2006; 46: 639–647. DOI: 10.1080/10408390500511821
19. *Andreasen M.F., Kroon P.A., Williamson G., Garcia-Conesa M.T.* Intestinal release and uptake of phenolic antioxidant diferulic acids. *Free Radic Biol Med* 2001; 31: 304–314.
20. *Haro-Vicente J.F., Bernal-Cava M.J., Lopez-Fernandez A., Ros-Berruetez G., Bodenstein S., Sanchez-Siles L.* Sensory Acceptability of Infant Cereals with Whole Grain in Infants and Young Children. *Nutrients* 2017; 9(1): 65. DOI: 10.3390/nu9010065
21. *Del Pozo-Insfran D., Brenes C.H., Serna Saldivar S.O., Talcott S.T.* Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res Int* 2006; 39: 696–703. DOI: 10.1016/j.foodres.2006.01.014
22. *Žofajová A., Pšenáková I., Havrlentová M., Piliarová M.* Accumulation of total anthocyanins in wheat grain. *Agriculture* 2012; 58: 50–56. DOI: 10.2478/v10207-012-0006-7
23. *Ficco D.B.M., de Simone V., Colechia S.A., Pecorella I., Platani C., Nigro F. et al.* Genetic variability in anthocyanin composition and nutritional properties of blue, purple, and red bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum turgidum* L. ssp. *turgidum* conv. *durum*) wheats. *J Agric Food Chem* 2014; 62: 8686–8695. DOI: 10.1021/jf5003683
24. *Ranilla L.G., Genovese M.I., Lajolo F.M.* Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) *J Agric Food Chem* 2007; 55: 90–98. DOI: 10.1021/jf062785j
25. *Treutter D.* Significance of flavonoids in plant resistance: A review. *Environ Chem Lett* 2006; 4: 147–157. DOI: 10.1007/s10311-006-0068-8

26. Azuma A., Yakushiji H., Koshita Y., Kobayashi S. Flavonoid biosynthesis-related genes in grape skin are differentially regulated by temperature and light conditions. *Planta* 2012; 236: 1067–1080. DOI: 10.1007/s00425-012-1650-x
27. Chen C., Li H., Zhang D., Li P., Ma F. The role of anthocyanin in photoprotection and its relationship with the xanthophyll cycle and the antioxidant system in apple peel depends on the light conditions. *Physiol Plant* 2013; 49: 354–366. DOI: 10.1111/ppl.12043
28. Shipp J., Abdel-Aal E.-S. Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *Open Food Sci J* 2010; 4: 7–22. DOI: 10.2174/1874256401004010007
29. Bowen-Forbes C.S., Zhang Y., Nair M.G. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. *J Food Compos Anal* 2010; 23: 554–560. DOI: 10.1016/j.jfca.2009.08.012
30. Wang L.S., Stoner G.D. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Lett* 2008; 269: 281–290. DOI: 10.1016/j.canlet.2008.05.020
31. Ghosh D., Konishi T. Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pac J Clin Nutr* 2007; 16: 200–208.
32. De Pascual-Teresa S., Moreno D.A., Darcia-Viguera C. Flavonols and anthocyanins in cardiovascular health. *Int J Mol Sci* 2010; 11: 1679–1703. DOI: 10.3390/ijms11041679
33. Cordain L., Eaton S.B., Sebastian A., Mann N., Lindeberg S., Watkins B.A. et al. Origins and evolution of the Western diet: Health implications for the 21st century. *Am J Clin Nutr* 2005; 81: 341–354. DOI: 10.1093/ajcn.81.2.341
34. Bett-Garber K.L., Lea J.M., Champagne E.T., McClung A.M. Whole-grain rice flavor associated with assorted bran colors. *J Sens Stud* 2012; 27: 78–86. DOI: 10.1111/j.1745-459X.2011.00368.x
35. Okarter N., Liu R.H. Health benefits of whole grain phytochemicals. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2010; 50: 193–208. DOI: 10.1080/10408390802248734
36. Slavin J. Whole grains and digestive health. *Cereal Chem* 2010; 87: 292–296. DOI: 10.1094/CCHEM-87-4-0292
37. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutr Res Rev* 2010; 23: 65–134. DOI: 10.1017/S0954422410000041
38. Ma X., Tang W.G., Yang Y., Zhang Q.L., Zheng J.L., Xiang Y.B. Association between whole grain intake and all-cause mortality: a meta-analysis of cohort studies. *Oncotarget* 2016; 7: 61996–62005. DOI: 10.18632/oncotarget.11491
39. Agostoni C., Decsi T., Fewtrell M., Goulet O., Kolacek S., Koletzko B. et al. ESPGHAN Committee on Nutrition. Complementary Feeding: A Commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2008; 46: 99–110. DOI: 10.1097/01.mpg.0000304464.60788.bd
40. Mennella J.A., Trabulsi J.C. Complementary foods and flavor experiences: Setting the foundation. *Ann Nutr Metab* 2012; 60: 40–50. DOI: 10.1159/000335337
41. Alexy U., Zorn C., Kersting M. Whole grain in children's diet: Intake, food sources and trends. *Eur J Clin Nutr* 2010; 64: 745–751. DOI: 10.1038/ejcn.2010.94
42. Slavin J., Tucker M., Harriman C., Jonnalagadda S.S. Whole grains: Definition, dietary recommendations, and health benefits. *Cereal Chem* 2016; 93: 209–216. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.08.008
43. Ferruzzi M.G., Jonnalagadda S.S., Liu S., Marquart L., McKeown N., Reicks M. et al. Developing a standard definition of whole-grain foods for dietary recommendations: Summary report of a multidisciplinary expert roundtable discussion. *Adv Nutr* 2014; 5: 164–176. DOI: 10.3945/an.113.005223
44. Signes-Pastor A., Carey M., Meharg A.A. Inorganic arsenic in rice-based products for infants and young children. *Food Chem* 2016; 191: 128–134. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.078
45. Seal C.J., Brownlee I.A. Whole-grain foods and chronic disease: evidence from epidemiological and intervention studies. *Proc Nutr Soc* 2015; 74(3): 313–319. DOI: 10.1017/S0029665115002104
46. Wessells K.R., Brown K.H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. *PLoS ONE* 2012; 7: e50568. DOI: 10.1371/journal.pone.0050568
47. Slavin J.L. Whole grains, refined grains, and fortified refined grains: What's the difference? *Asia Pac J Clin Nutr* 2000; 9: S23–S27.
48. Eichler K., Wieser S., Rütthemann I., Brügger I. Effects of micronutrient fortified milk and cereal food for infants and children: a systematic review. *BMC Public Health* 2012; 12: 506.
49. Bubenik G.A., Konturek S.J. Melatonin and aging: prospects for human treatment. *J Physiol Pharmacol* 2011; 62(1): 13–19.
50. Cubero J., Narciso D., Terrón M.P., Rial R., Esteban S., Rivero M. et al. Chrononutrition applied to formula milks to consolidate infants' sleep/wake cycle. *Neuroendocrinol Lett* 2007; 28(4): 360–366.
51. Sánchez S., Sánchez C.L., Paredes S.D., Barriga C., Rodríguez A.B. Circadian levels of serotonin in plasma and brain after oral administration of tryptophan in rats. *Basic Clin Pharmacol* 2008; 104: 52–59. DOI: 10.1111/j.1742-7843.2008.00333.x
52. Jawhara M., Sørensen S.B., Heitmann B.L., Andersen V. Biomarkers of Whole-Grain and Cereal-Fiber Intake in Human Studies: A Systematic Review of the Available Evidence and Perspectives. *Nutrients* 2019; 11(12): 2994. DOI: 10.3390/nu11122994
53. Kamar M., Evans C., Hugh-Jones S. Factors Influencing British Adolescents' Intake of Whole Grains: A Pilot Feasibility Study Using Sense Cam Assisted Interviews. *Nutrients* 2019; 11(11): 2620. DOI: 10.3390/nu11112620
54. Jones J.M., García C.G., Braun H.J. Perspective: Whole and Refined Grains and Health-Evidence Supporting «Make Half Your Grains Whole». *Adv Nutr* 2020; 11(3): 492–506. DOI: 10.1093/advances/nmz114
55. Cubero J., Ojalora B.B., Bravo R., Sánchez C.L., Franco L., Uguz A.C. et al. Distribution of 5-HT receptors in the mammalian brain. *Trends Cell Mol Biol* 2011; 6: 41–46.
56. Bravo R., Matito S., Cubero J., Paredes S.D., Franco L., Rivero M. et al. Tryptophan-enriched cereal intake improves nocturnal sleep, melatonin, serotonin, and total antioxidant capacity levels and mood in elderly humans. *Age (Dordr)* 2013; 35(4): 1277–1285. DOI: 10.1007/s11357-012-9419-5
57. Zhang X.F., Wang X.K., Tang Y.J., Guan X.X., Guo Y., Fan J.M., Cui L.L. Association of whole grains intake and the risk of digestive tract cancer: a systematic review and meta-analysis. *Nutr J* 2020; 19(1): 52. DOI: 10.1186/s12937-020-00556-6
58. Huttenlocher P.R., Dabholkar A.S. Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *J Comp Neurol* 1997; 387: 167–178.
59. Adebo O.A., Gabriela Medina-Meza I. Impact of Fermentation on the Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Whole Cereal Grains: A Mini Review. *Molecules* 2020; 25(4): 927. DOI: 10.3390/molecules25040927
60. Mata M., Fink D.J., Gainer H., Smith C.B., Davidsen L. et al. Activity-dependent energy metabolism in rat posterior pituitary primarily reflects sodium pump activity. *J Neurochem* 1980; 34: 213–215.
61. Bellisle F. Effects of diet on behaviour and cognition in children. *Br J Nutr* 2004; 92: S227–S232. DOI: 10.1079/BJN20041171
62. Donin A.S., Nightingale C.M., Owen C.G., Rudnicka A.R., Perkin M.R. et al. Regular Breakfast Consumption and Type 2

- Diabetes Risk Markers in 9- to 10-Year-Old Children in the Child Heart and Health Study in England (CHASE): A Cross-Sectional Analysis. *PLoS Med* 2014; 11(9): e1001703. DOI: 10.1371/journal.pmed.1001703
63. Theodore R.F., Thompson J.M.D., Waldie K.E., Wall C., Becroft D.M.O., Robinson E. et al. Dietary patterns and intelligence in early and middle childhood. *Intelligence* 2009; 37: 506–513. DOI: 10.1016/j.intell.2009.07.001
 64. Taki Y., Hashizume H., Sassa Y., Takeuchi H., Asano M., Asano K., Kawashima R. Breakfast Staple Types Affect Brain Gray Matter Volume and Cognitive Function in Healthy Children. *PLoS One* 2010; 5(12): e15213. DOI: 10.1371/journal.pone.0015213
 65. Foster-Powell K., Holt S.H., Brand-Miller J.C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr* 2002; 76: 5–56. DOI: 10.1093/ajcn/76.1.5
 66. Edefonti V., Rosato V., Parpinel M., Nebbia G., Fiorica L., Fossali E. et al. The effect of breakfast composition and energy contribution on cognitive and academic performance: a systematic review. *Am J Clin Nutr* 2014; 100(2): 626–656. DOI: 10.3945/ajcn.114.083683
 67. Парфенов А.И., Маев И.В., Баранов А.А., Бакулин И.Г., Сабельникова Е.А., Крумс Л.М. и др. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых. Альманах клинической медицины 2016; 44(6): 661–688. [Parfenov A.I., Maev I.V., Baranov A.A., Bakulin I.G., Sabel'nikova E.A., Krums L.M. et al. All-Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny* 2016; 44(6): 661–688. (in Russ.)]
 68. Wieser H. Relation between gliadin structure and celiac toxicity. *Acta Paediatr* 1996; Suppl. 412: 3–9.
 69. Fraser J.S., Engel W., Ellis H.J., Moodie S.J., Pollock E.L., Wieser H., Ciclitira P.J. Coeliac disease: in vivo toxicity of the putative immunodominant epitope. *Gut* 2003; 52: 1698–1702. DOI: 10.1136/gut.52.12.1698
 70. Комарова О.Н., Хавкин А.И. Особенности фактического питания и нутритивного статуса детей с целиакией. Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского 2018; 97(6): 99–103. [Komarova O.N., Khavkin A.I. Features of actual nutrition and nutritional status of children with celiac disease. *Pediatrics*. Zhurnal im. G.N. Speranskogo (Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky) 2018; 97(6): 99–103. (in Russ.)]
 71. Шаповалова Н.С., Новикова В.П., Ревнова М.О., Ларин С.В., Холопова И.В., Хавкин А.И. Роль HLA-DQ2.2 генотипа для больных целиакией. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология 2018; 11(159): 19–23. [Shapovalova N.S., Novikova V.P., Revnova M.O., Larin S.V., Kholopova I.V., Khavkin A.I. The role of HLA-DQ2.2 genotype for patients with celiac disease. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* (Experimental and Clinical Gastroenterology) 2018; 159(11): 19–23. (in Russ.)] DOI: 10.31146/1682-8658-ecg-159-11-19-23
 72. Бельмер С.В., Разумовский А.Ю., Хавкин А.И., Алхасов А.Б., Бехтерева М.К., Вольнец Г.В. и др. Болезни кишечника у детей. М., 2018; 2: 496. [Bel'mer S.V., Razumovskiy A.Yu., Khavkin A.I., Alkhasov A.B., Bekhtereva M.K., Volynets G.V. et al. *Intestinal diseases in children*. Moscow, 2018; 2: 496. (in Russ.)]
 73. Новикова В.П., Хавкин А.И., Шаповалова Н.С. Внелабораторная диагностика целиакии. Вопросы практической педиатрии 2018; 13(5): 62–67. [Novikova V.P., Khavkin A.I., Shapovalova N.S. Extra-laboratory diagnosis of coeliac disease. *Vopr prakt pediatr* (Clinical Practice in Pediatrics) 2018; 13(5): 62–67. (in Russ.)] DOI: 10.20953/1817-7646-2018-5-62-67
 74. Парфенов А.И., Быкова С.В., Сабельникова Е.А., Маев И.В., Баранов А.А., Бакулин И.Г. др. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых. Терапевтический архив 2017; 89(3): 94–107. [Parfenov A.I., Bykova S.V., Sabel'nikova E.A., Maev I.V., Baranov A.A., Bakulin I.G. et al. All-Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults. *Terapevticheskii arkhiv* 2017; 89(3): 94–107. (in Russ.)]
 75. Комарова О.Н., Хавкин А.И. Продукты на зерновой основе в питании взрослого и ребенка: что нового? Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология 2017; 6(142): 133–140. [Komarova O.N., Khavkin A.I. Products on cereal-based diet in adult and child: what's new? *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* (Experimental and Clinical Gastroenterology) 2017; 142(6): 133–140. (in Russ.)]

Поступила: 03.07.20

Received on: 2020.07.03

Конфликт интересов:

Т.А. Ковтун и Д.В. Макаркин — сотрудники АО «ПРОГРЕСС». Остальные авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов и финансовой поддержки, о которых необходимо сообщить.

Conflict of interest:

Т.А. Kovtun and D.V. Makarkin — employees of JSC PROGRESS. Other authors of this article confirmed the lack of conflict of interest and financial support, which should be reported.