

# Разнообразии β-глюканов: свойства, адекватные и клинически эффективные дозы

В. М. Коденцова<sup>1</sup>, Д. В. Рисник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва  
<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», биологический факультет, Москва

## РЕЗЮМЕ

Обзор литературы, существующей по проблеме, за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, CyberLeninka, Pubmed, ReserchGate. По структуре β-глюканы представляют собой сложные природные полисахариды, состоящие из мономерных единиц βD-глюкозы, ковалентно связанных гликозидными связями в различных положениях. β-глюканы содержатся в бактериях, морских водорослях, съедобных грибах (плодовые тела и культивируемый мицелий) и зерновых растениях. По источнику происхождения β-глюканы классифицируются на злаковые и незлаковые. β-глюканы зерновых (овес, ячмень, пшеница и рис) обычно имеют 1,3–1,4 гликозидные связи без 1,6-связей или разветвлений, тогда как β-глюканы, происходящие из незерновых (пекарские дрожжи, съедобные грибы, бактерии), имеют линейные (1,3) цепочки с длинными цепями разветвления 1,6. Функциональные свойства β-глюканов определяются длиной остова (степень полимеризации), соотношения связей 1,3:1,4 или связей 1,3:1,6 (степень ветвления), интервала ветвления, размера боковой цепи и молекулярной массы. β-глюканы зерновых по своим свойствам и механизму действия относятся к пищевым волокнам. Действующая доза злаковых β-глюканов, обеспечивающая эффективность при нарушениях метаболических (уровень глюкозы, холестерина) и желудочно-кишечных функций, а также пробиотический эффект, составляет от 3 до 8 г (чаще всего 4,5 г) при продолжительности приема в течение не менее 3 недель. Незлаковые (преимущественно из грибов и дрожжей) β-глюканы имеют структуру связи 1,3 и 1,6 и распознаются некоторыми рецепторами, включая дектин 1, рецептор комплемента 3 (CR3) и толл-подобные рецепторы (TLRs), и обладают более выраженными иммуномодулирующими функциями. Основные механизмы их действия установлены в экспериментах *in vivo* или модельных экспериментах на животных. Незлаковые β-глюканы используются как адъюванты при лекарственной терапии в дозах от 20 мг при простуде до 750 мг при онкологических заболеваниях. В соответствии с отечественной законодательной базой, регулирующей использование пищевых ингредиентов при производстве БАД и специализированных пищевых продуктов (СПП), β-глюканы не разделяются по источнику их происхождения. Установленный в настоящее время адекватный уровень потребления этих полисахаридов вне зависимости от источника их получения составляет 200 мг/сут, а верхний допустимый уровень – 1000 мг/сут. Анализ данных литературы свидетельствует о необходимости дифференциации β-глюканов и увеличения разрешенных доз β-глюканов зерновых до уровня, установленного для растворимых пищевых волокон.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** β-глюканы зерновых, β-глюканы незерновые, эффективная доза, глюкоза, триглицериды, сахарный диабет.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Variety of β-glucans: properties, adequate and clinically effective doses

V. M. Kodentsova<sup>1</sup>, D. V. Risnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia  
<sup>2</sup> Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

## SUMMARY

A review of the existing literature on the problem in recent years was carried out using the RSCI, CyberLeninka, Pubmed, and ReserchGate databases. Structurally, βglucans are complex natural polysaccharides consisting of monomeric βD-glucose units covalently linked by glycosidic bonds in various positions. βGlucans are found in bacteria, algae, edible fungi (bodies and cultivated mycelium) and cereals. According to the source of origin, βglucans are classified into cereal and non-cereal. Grain-derived βglucans (oats, barley, wheat, and rice) typically have 1,3–1,4 glycosidic linkages with no 1,6-linkages or branches, while non-grain-derived βglucans (baker's yeast, edible mushrooms, bacteria) have linear (1,3) chains with long branching chains 1,6. The functional properties of βglucans are determined by the length of the backbone (degree of polymerization), the ratio of bonds 1.3:1.4 or bonds 1.3:1.6 (degree of branching), branching interval, side chain size and molecular weight. Grain βglucans are classified as dietary fiber in terms of their properties and mechanism of action. The effective dose of cereal βglucans, which provides efficacy in metabolic disorders (glucose, cholesterol levels) and gastrointestinal functions, as well as a probiotic effect, is from 3 to 8 g (most often 4.5 g) with a duration of intake of at least 3 weeks. Non-cereal (predominantly from fungi and yeast) βglucans have a 1,3 and 1,6 bond structure and are recognized by several receptors including dectin 1, complement receptor 3 (CR3) and toll-like receptors (TLRs) and have more pronounced immunomodulatory functions. The main mechanisms of their action have been established in vivo experiments or animal models. Non-cereal βglucans are used as adjuvants in drug therapy at doses ranging from 20 mg for the common cold to 750 mg for cancer. In accordance with the domestic legal framework governing the use of food ingredients in the production of dietary supplements and specialized food products, βglucans are not separated by their source of origin. The currently established adequate level of intake of these polysaccharides, regardless of the source of their receipt, is 200 mg/day, and the upper acceptable level is 1000 mg/day. An analysis of literature data indicates the need to differentiate βglucans and increase the permitted doses of cereal βglucans to the level established for soluble dietary fibers.

**KEY WORDS:** cereal βglucans, non-cereal βglucans, effective dose, glucose, triglycerides, diabetes mellitus.

**CONFLICT OF INTERESTS.** The authors declare no conflict of interest.

Глюканы входят в гетерогенную группу полимеров глюкозы, которые содержатся в бактериях, водорослях, грибах и растениях. β-глюканы представляют собой сложные природные полисахариды, состоящие

из мономерных единиц βD-глюкозы, которые ковалентно связаны гликозидными связями в различных положениях. Связи β1,4 соединяют мономеры D-глюкозы с образованием единиц целлобиозы или целлотриозы, которые

Таблица 1  
**Величины суточного потребления  $\beta$ -глюканов и растворимых пищевых волокон в составе СПП и БАД к пище для взрослых [7, 8]**

Компонент пищи	Адекватный уровень потребления (физиологическая потребность)	Верхний допустимый уровень потребления в составе БАД и СПП
Полисахариды, в том числе $\beta$ -глюканы	200 мг	1000 мг
Растворимые пищевые волокна	2 г	6 г

далее соединяются связями  $\beta$ 1,3 с образованием  $\beta$ -глюканов. Большинство функциональных свойств  $\beta$ -глюканов определяются длиной остова (степень полимеризации), соотношением связей 1,3:1,4 или связей 1,3:1,6 (степень ветвления), интервалом ветвления и размером боковой цепи [1]. В зависимости от источника получения  $\beta$ -глюканов их структура может быть как разветвленной, так и неразветвленной. Моносахаридные звенья, соединяясь в нескольких точках, образуют широкий спектр различных разветвленных и линейных структур.

Наличие  $\beta$ 1,3-связей устраняет молекулярную агрегацию и придает молекуле способность растворяться в воде. Различия в химической структуре  $\beta$ -глюканов приводят к различному физико-химическому поведению. Например, соотношение  $\beta$ 1,3- и  $\beta$ 1,4-связи обуславливает растворимость в воде, а более высокая молекулярная масса способствует повышению вязкости образуемого раствора [2]. Самые высокие молекулярные массы имеют  $\beta$ -глюканы овса (3000 кДа) и ячменя (2100 кДа).

Биологические и физико-химические свойства  $\beta$ -глюканов сильно различаются в зависимости от источника их получения [3]. Помимо этого, на физиологическую активность  $\beta$ -глюканов влияет степень очистки, а также способ их экстракции.

По физико-химическим свойствам  $\beta$ -глюканы делятся на растворимые и нерастворимые. Нерастворимые волокна уменьшают время кишечного транзита, а также увеличивают объем кала и экскрецию желчных кислот. Растворимые волокна, наоборот, увеличивают общее время транзита через желудочно-кишечный тракт, задерживая опорожнение желудка, а также замедляют всасывание глюкозы [4]. Гелеобразующие  $\beta$ -глюканы относятся к растворимым и включают линейные  $\beta$ -глюканы водорослей (ламинарин), высокомолекулярные разветвленные  $\beta$ -глюканы грибов (шизофиллан, грифолан и склероглюкан) и химически модифицированные  $\beta$ -глюканы (фосфорилированные или сульфированные) [4].

По источнику происхождения  $\beta$ -глюканы классифицируются на злаковые и незлаковые. К сожалению, даже в научных публикациях часто недостаточно внимания уделяется важности источника получения  $\beta$ -глюкана или вариациям их структур.  $\beta$ -глюканы обладают множеством эффектов, которые в действительности могут существенно варьировать в зависимости от исходного источника  $\beta$ -глюкана и способа его получения, так как оказывают значительное влияние на структуру  $\beta$ -глюкана и, следовательно, на проявляемую биологическую актив-

ность [5]. Важен также общий размер молекулы  $\beta$ -глюканов, поскольку более высокие молекулярно-массовые фракции оказывают больший эффект. При приготовлении пищи молекулярная масса  $\beta$ -глюкана сохраняется в кашах и блинах, тогда как в хлебе, пастеризованном яблочном соке, макаронах и кексах она снижается [6]. Выпечка снижает растворимость  $\beta$ -глюкана, в то время как приготовление овсяной каши, наоборот, увеличивает ее. Нагревание в воде (кипячение) и некоторые методы экструзии повышают растворимость и вязкость  $\beta$ -глюкана [6].

Биологическое действие  $\beta$ -глюканов можно разделить на две основные области, а именно: метаболические/желудочно-кишечные эффекты и иммуномодулирующие эффекты, что в значительной степени определяется их структурой, которая, в свою очередь, зависит от источника их получения.

В соответствии с отечественной законодательной базой [7], регулирующей использование пищевых ингредиентов при производстве БАД и специализированных пищевых продуктов (СПП),  $\beta$ -глюканы не разделяются по источнику их происхождения. Адекватный уровень их потребления вне зависимости от источника их получения составляет 200 мг/сут, а верхний допустимый уровень в составе СПП и БАД к пище – 1000 мг/сут. При этом в качестве пищевых источников приведены высшие грибы и семена злаковых, а в качестве альтернативного источника – пекарские дрожжи [7].

**Цель обзора** – сопоставление разрешенных для применения в составе БАД к пище доз  $\beta$ -глюканов и других полисахаридов с дозами, обеспечивающими клинический эффект.

Обзор существующей по проблеме литературы за последние годы осуществляли по базам данных РИНЦ, CyberLeninka, Pubmed, ReserchGate.

### **$\beta$ -глюканы зерновых**

В зерновых  $\beta$ -глюканы находятся в эндоспермической и алейронной стенках.  $\beta$ -глюканы зерновых (овес, ячмень, пшеница и рис) обычно имеют 1,3–1,4 гликозидные связи без 1,6-связей или разветвлений. Содержание  $\beta$ -глюкана также варьирует в зависимости от источников злаков. В зерне овса содержится 2–6%  $\beta$ -глюкана, в овсяных отрубях – 5–20% [9]. Содержание  $\beta$ -глюкана в ячмене выше, чем в овсе, наименьшее – в рисе и пшенице (до 2,5%). Содержание  $\beta$ -глюкана в овсяной крупе может варьировать от 1,8 до 7% [6]. Растворимость молекулы зависит от 1,3-связей.  $\beta$ -глюканы зерновых относятся к растворимым пищевым волокнам, поскольку  $\beta$ -конфигурация не расщепляется ферментами желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) человека.

Злаковые  $\beta$ -глюканы, мономеры в которых связаны 1,3- и 1,4-связями, в основном проявляют метаболическую активность посредством механизма, характерного для пищевых волокон, и способствуют снижению уровня холестерина (ХС) и глюкозы в крови. Один из механизмов действия опосредован повышением биомассы полезной

Таблица 2

## Клиническая эффективность некоторых растворимых пищевых волокон и β-глюканов и условия ее достижения у пациентов

Компонент пищи	Действующая суточная доза	Срок приема	Участники или пациенты	Эффект
β-глюкан овса	5–10 г в составе напитка	5 нед.	СД2	Улучшение липидного профиля, ХС ↓, постпрандиальная глюкоза ↓, инсулин ↓ [11]
β-глюкан овса	4 г в составе мюсли с йогуртом	3 нед.	Здоровые	Постпрандиальная глюкоза и инсулин ↓ [12]
β-глюкан овса	2,5–3,5 г	3–8 нед.	СД2	НbA1c ↓, глюкоза ↓, инсулин = [13]
β-глюкан овса	3,5 г	≥ 3 нед.	Участники среднего возраста	ХС ЛПНП ↓, apoB ↓ [14]
β-глюкан овса	5 г	5 нед.	Метаболический синдром	ХС ↓, <i>Bifidobacteria</i> ↑ [15]
β-глюкан ячменя (1,349 кДа)	5 г	5 нед.	Добровольцы с уровнем ХС (5–8 ммоль/л)	ИМТ ↓, артериальное давление ↓, ТГ ↓, <i>Bacteroidetes</i> ↑, <i>Firmicutes</i> ↓ [16]
Растворимые пищевые волокна	7,6–8,3 г (мета-анализ)	≥ 3 нед.	СД2	ИМТ ↓ [17]
β-глюкан, камеди гуаровая, ксантановая, рожкового дерева, конжаковая, пектин, альгинат, агар	13,1 г (метаанализ)	8 нед.	СД2	НbA1c ↓, глюкоза в плазме натощак ↓, индекс НОМА-IR ↓ [18]
Камедь акации	30 г	3 мес.	СД2	Глюкоза в плазме крови натощак ↓, НbA1c ↓, улучшение липидного профиля; ХС ЛПНП ↓, общий ХС ↓, ТГ ↓, ХС ЛПВП, ИМТ ↓ [19]
	50 г	4 нед.	СД2	Мочевина в плазме ↓ [11]
Полидекстроза	12,5–15 г	10 сут.	СД2	Постпрандиальное повышение ТГ ↓ [20]

Примечание. Условные обозначения: ↓ – уменьшение, ↑ – увеличение, = – отсутствие изменений, ХС – холестерин, ТГ – триглицериды, СД2 – сахарный диабет 2 типа, ЛПВП – липопротеиды высокой плотности, ИМТ – индекс массы тела.

микробиоты кишечника (*Lactobacilli* и *Bifidobacteria*). Наиболее изученными являются β-глюканы овса. В таблице 2 обобщены некоторые эффекты β-глюканов.

Потребление β-глюкана овса в дозе от 3 до 5 г (в некоторых исследованиях до 30 г) сопровождается увеличением фекальной экскреции желчных и короткоцепочечных жирных кислот, снижением уровня ХС в крови, уменьшением количества висцерального жира у лиц с ожирением, способствует опорожнению кишечника и гликемической реакции [5].

Гипогликемическая функция β-глюканов овса зависит от дозы и молекулярной массы. Минимальная эффективная доза β-глюканов овса остается предметом дискуссий. Повышенная молекулярная масса способствует более вязкому состоянию пищевой матрицы и приводит к значительному снижению гликемического индекса [2]. Было показано, что каждый 1 г β-глюканов овса уменьшал площадь приращения под кривой отклика на глюкозу в крови на 7%, а пиковую реакцию – на 15%. Потребление 30 г продуктов, содержащих β-глюканы овса, дозозависимо снижает площадь приращения под кривой отклика на глюкозу в диапазоне от 1,5 до > 5,5 г на 9–39% соответственно. β-глюканы с низкой молекулярной массой (< 300 кДа) не оказывали эффекта, а со средней (от 300 до < 1000 кДа) и высокой молекулярной массой (> 1000 кДа) вызывали значительное снижение на 23 и 32% соответственно [10].

Прием овсяных β-глюканов способствовал уменьшению постпрандиальной гликемии и повышению чувства сытости, улучшению контроля аппетита, снижению уровня ХС липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), снижению уровня общего ХС, уменьшению воспаления и продуктов окисления у пациентов с гиперхолестеринемией [5].

Включение в течение 4 недель в рацион лиц с метаболическим синдромом по 5 г β-глюкана овса сопровождалось повышением уровня *Bacteroidetes* в кишечнике, у здоровых лиц эффект проявлялся в те же сроки при приеме даже более низкой дозы (1 г) β-глюкана [15].

Впервые заявление о пользе потребления β-глюкана из цельного овса, овсяных отрубей и цельной овсяной муки для снижения риска ишемической болезни сердца (ИБС) было одобрено Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США в 1997 г.

Комиссией Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA) по диетическим продуктам, питанию и аллергии признан эффект снижения уровня ХС ЛПНП у населения в целом, а также было признано научно обоснованным заявление о пользе «для снижения постпрандиальной гликемии 4 г β-глюканов из овса или ячменя на каждые 30 г легко усвояемых углеводов» [21]. Разрешенные количества β-глюкана в пищевых продуктах для поддержания здоровья сердца обычно колеблются в пределах от 0,6 до 1 г в стандартной порции, при этом часто в заявлении о пользе продукта также указывается, что для достижения положительного эффекта необходимо потреблять не менее 3 г β-глюканов в день. В Бразилии заявление о пользе продукта допускается при условии, что твердая пища содержит 3 г β-глюкана, а жидкая – 1,5 г. В Корее заявления о пользе продукта разрешены при содержании в нем не менее 3 г овсяных волокон. Некоторые страны также требуют, чтобы пища, содержащая β-глюканы, одновременно соответствовала таким требованиям, как низкое содержание насыщенных жиров и низкое содержание ХС [6].

Влияние на метаболические показатели зависит от матрицы используемого пищевого продукта, в который добавляют β-глюканы. Эффективность добавления β-глюканов

овса в твердые пищевые продукты (печенье, крекеры) выше, чем в жидкие (напитки) или полутвердые (каша из пшеничной муки) продукты и достигается при более низких дозах [22]. Макароны, содержащие 3–7 г  $\beta$ -глюканов, демонстрируют наибольшую эффективность в снижении реакции на глюкозу, в то время как крекеры и мюсли имеют промежуточный эффект. Жидкие пищевые продукты (супы и напитки) в меньшей степени влияют на снижение постпрандиальной глюкозы [22].

В таблице 2 для сравнения представлены данные по эффективности использования других полисахаридов, подтверждающие сходство метаболических эффектов  $\beta$ -глюканов и растворимых пищевых волокон.

Таким образом, действующая доза злаковых  $\beta$ -глюканов, обеспечивающая эффективность при нарушениях метаболических и желудочно-кишечных функций, составляет от 3 до 8 г (чаще всего 4,5 г) при продолжительности приема в течение не менее 3 недель [5]. Для снижения уровня холестерина под действием  $\beta$ -глюканов требуется более длительный период – 5–6 недель [22]. Зерновые  $\beta$ -глюканы обладают метаболическими и желудочно-кишечными эффектами, модулируя микробиом кишечника, изменяя метаболизм липидов и глюкозы, снижая уровень ХС, используются в качестве потенциальных вспомогательных средств в лечении метаболического синдрома, ожирения и регулирования диеты, желудочно-кишечных заболеваний (синдром раздраженного кишечника, колит), а также для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета.

### Незерновые $\beta$ -глюканы

Незерновые  $\beta$ -глюканы представляют собой волокнистые структуры, они обнаружены в пекарских дрожжах, грибах, бактериях и водорослях.

### $\beta$ -глюканы водорослей

Ламинарин –  $\beta$ -глюкан, выделенный из ламинарии *Laminaria* spp. (*L. digitata*, *L. hyperborea* и *L. japonica*), имеет среднюю молекулярную массу 5 кДа (в диапазоне от 3,4 до 7,7 кДа) и представляет собой полисахарид, состоящий из 25–50 единиц глюкозы, которые связаны  $\beta$ 1,3-гликозидными связями, с  $\beta$ 1,6-разветвлением [23]. Содержание ламинаринов может достигать 35% от сухой массы водоросли, особенно у *L. saccharina* и *L. digitata*.

В экспериментах *in vitro* и модельных экспериментах *in vivo* показано, что ламинарин обладает целым рядом активностей, включая противоопухолевую, ингибирование апоптоза, обладает антикоагулянтными и антиоксидантными свойствами, взаимодействует с рецептором дектин-1 [24]. В экспериментах на крысах и поросятах показано, что ламинарин обладает пробиотическими свойствами [25].

### $\beta$ -глюканы дрожжей и бактерий

У микроорганизмов  $\beta$ -глюканы являются структурным компонентом. Курдлан, выделенный из клеточной стенки бактерии *Agrobacterium* и *Alcaligenes faecalis*, и  $\beta$ -глюканы из других бактерий являются линейными  $\beta$ 1,3-глюканами [1].

Отдельные грибы содержат специфические  $\beta$ -глюканы, которые отличаются друг от друга количеством 1,6-связанных боковых цепей [26]. Например, первичная структура  $\beta$ -глюкана в лентинане – полисахариде, выделенном из плодового тела гриба шиитаке *Lentinus edodes*, состоит из  $\beta$ -1,3-глюкозного остова с двумя  $\beta$ -1,6-глюкозными ответвлениями на каждые пять единиц глюкозы с молекулярной массой от 300 до 1000 кДа (в среднем около 500 кДа) [1, 26].

$\beta$ 1,3-глюканы с ветвями  $\beta$ 1,6 или без них в водных растворах при комнатной температуре образуют структуру тройной спирали, которая и определяет их биологические свойства [22, 27]. Незлаковые (преимущественно из грибов и дрожжей)  $\beta$ -глюканы обладают более выраженными иммуномодулирующими функциями и находятся в центре внимания иммуномодулирующих и антиканцерогенных исследований. Они имеют структуру связи 1,3 и 1,6 и распознаются некоторыми рецепторами, включая дектин-1, рецептор комплемента 3 (CR3) и толл-подобные рецепторы (TLRs) [5, 28]. Противоопухолевая активность главным образом определяется молекулярной массой, степенью разветвления, конформацией молекул [29].

Показано, что  $\beta$ -глюканы из дрожжей активируют иммунный ответ и инициируют воспалительный процесс, а также повышают устойчивость к инфекциям и ингибируют развитие рака.  $\beta$ -глюканы не оказывают прямого цитотоксического действия на раковые клетки или опухоли, а вызывают косвенный эффект через активацию иммунных клеток.

В 2011 году Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA) оценило  $\beta$ -глюканы как безопасный пищевой продукт, который может использоваться в качестве биологически активных добавок к пище в дозе от 375 до 600 мг/сут, а также в специализированных пищевых продуктах [30]. Директивой Европейского союза от 2017 года, пересмотренной в 2019 году, использование  $\beta$ -глюканов из дрожжей *S. cerevisiae* было распространено и на другие продукты, такие как сок, напитки (1,3 г/кг), зерновые хлопья для завтрака (15,3 г/кг), печенье (6,7 г/кг), сухое молоко (25,5 г/кг) и до 3,8 г/кг в молочных продуктах [31]. Этот новый пищевой ингредиент высокой степени очистки, экстрагированный из дрожжевой стенки, представляет собой полисахарид с молекулярной массой 100–200 кДа, состоит из  $\beta$ 1,3 и  $\beta$ 1,6 глюкановых структур, к которым прикреплены хитин и различные маннопротеины. Степень чистоты этого нерастворимого в воде компонента, но диспергируемого в жидких матрицах, должна быть выше 80%, иметь следующие характеристики: белок < 4%; жир < 3%; зола < 2% и влажность < 6% [31].

$\beta$ -глюканы дрожжей и грибов, обладая иммуномодулирующим действием, разрешены для использования в США, Канаде, Финляндии, Швеции, Китае, Японии и Корее в качестве адьювантных средств при терапии онкологических заболеваний (солидные и гематологические злокачественные новообразования), иммуноопосредованных состояниях (аллергический ринит, респираторные инфекции) и для улучшения заживления ран [26, 28, 32, 33].

Все предполагаемые заявления о пользе для здоровья, связанные со стимуляцией иммунной системы и защитой от патогенных микроорганизмов, EFSA были отклонены [26].

В обзорных статьях действующие дозы приводятся редко. В некоторых исследованиях пациенты с онкологическими заболеваниями принимали по 250 мг  $\beta$ -глюкана 3 раза в день в течение 14–90 суток на фоне основной лекарственной терапии. При простуде используемые дозы ниже – 20 мг/сут [5].

### Полидекстроза

Полидекстроза (ПД) представляет собой синтетический высоко разветвленный полимер глюкозы, который используется в пищевой промышленности в качестве пищевых волокон и для снижения содержания в продукте сахара и жира [34]. Медленная ферментация ПД микробиотой в толстой кишке способствует ее хорошей переносимости человеком (до 90 г/день) [35]. ПД увеличивает ретенцию кальция, обеспечивает лучшую биодоступность кальция и железа. ПД (в дозе 8–21 г в течение 21 дня) обладает пребиотическими свойствами, повышая количество полезных кишечных микробов и продукцию короткоцепочечных жирных кислот [36]. При суточной дозе 12,5 или 15 г ПД через 10 дней отмечается значительное ( $p < 0,05$ ) снижение постпрандиальной триглицеридной реакции у лиц с нормолипидемией, ожирением и гиперлипидемией, потребляющих рацион с высоким содержанием жира (36% по калорийности) [20]. ПД оказывает влияние на аппетит, повышает чувство насыщения, в дозе 25 г/сут снижает потребление энергии на 17%, и оказывает влияние на метаболизм глюкозы, обладает гиполипидемическим действием [37]. В дозе 3,6 г/сут ПД приводит к сокращению времени прохождения пищи через желудочно-кишечный тракт у субъектов, страдающих запорами [20].

### Заключение

Анализ данных литературы позволил сделать ряд заключений.  $\beta$ -глюканы разного происхождения различаются по своей макромолекулярной структуре и  $\beta$ -связям: в  $\beta$ -глюканах грибов и дрожжей преимущественно  $\beta$ -1,3/1,6-связи, в то время как в  $\beta$ -глюканах злаков  $\beta$ -1,3/1,4-связи [38]. Совершенно ясно, что физиологическое действие  $\beta$ -глюканов зависит от источника их получения.  $\beta$ -глюканы, полученные из грибов, эффективны в качестве противоопухолевой защиты и для повышения иммунитета, а содержащиеся в злаках более активны в снижении уровня холестерина и сахара в крови [38]. На основании метаанализов был сделан вывод о том, что включение в рацион  $\beta$ -глюканов овса приводит к снижению уровня липидов в крови и улучшению антропометрических параметров среди участников с преимущественно легкими метаболическими нарушениями независимо от состава основного рациона [39]. При этом важно подчеркнуть, что в большинстве метаанализов не акцентируется внимание на используемых дозах и продолжительности приема.

Между тем в соответствии с отечественной законодательной базой [7]  $\beta$ -глюканы не разделяются по происхо-

ждению, а адекватный уровень их потребления, а также верхний допустимый уровень  $\beta$ -глюканов овса в составе СПП и БАД к пище существенно ниже доз (табл. 1), обеспечивающих достижение клинического эффекта. Продолжительность отечественных клинических испытаний, ограниченная сроком пребывания пациента в стационаре, обычно не превышает 2 недель, что также значительно меньше сроков наблюдения в рандомизированных клинических испытаниях этих веществ в высоких дозах.

Результатом применения низких доз и малой продолжительности наблюдения является отсутствие статистически значимых отличий клинических показателей от таковых у пациентов, получавших стандартную диетотерапию, т. е. от группы сравнения. Возникает закономерный вопрос о том, можно ли признавать такие результаты доказательством эффективности СПП, что является необходимым условием государственной регистрации СПП. С другой стороны, явно назрела необходимость пересмотра нормативных документов с целью увеличения максимального содержания  $\beta$ -глюканов и полисахаридов, обеспечивающих физиологическое действие.

Анализ данных литературы свидетельствует о необходимости дифференциации  $\beta$ -глюканов на зерновые и незерновые, в настоящее время представленные в разделе «полисахариды», и увеличения разрешенных доз  $\beta$ -глюканов зерновых до уровня, установленного для растворимых пищевых волокон, что позволит достигать клинический эффект.

В России имеется значительное количество пищевых продуктов, содержащих концентраты  $\beta$ -глюкана, среди которых хлеб, молочные и мясные изделия, эмульсионные соусы, безалкогольные напитки и др. Наиболее часто применяется концентрат  $\beta$ -глюкана из зерновых культур, однако имеются примеры использования концентратов из грибов: вешенки обыкновенные (*Pleurotus ostreatus*), шиитаке (*Lentinus edodes*), дрожжевых клеток хлебопекарных (*Saccharomyces cerevisiae*) и пивных дрожжей (*Saccharomyces pastorianus*), в том числе отработанных [9, 40]. При этом в основном их используют в технологических целях, в лучшем случае проводят лишь дегустацию разработанных продуктов без их клинической апробации. Обычно разработка новых рецептур ограничивается лишь заявлением о том, что  $\beta$ -глюкан «оказывает неоценимую помощь организму» [41].

### Выводы

Включение в СПП функциональных ингредиентов в количестве, не достигающем доз с доказанной эффективностью при определенной патологии, к тому же в течение непродолжительного срока не гарантирует ожидаемого результата при его применении.

Назрела необходимость дифференциации  $\beta$ -глюканов по источнику их получения и повышения доз зерновых  $\beta$ -глюканов в составе БАД к пище и СПП до уровня, установленного для растворимых пищевых волокон.

Представленные данные указывают на необходимость разработки обоснованных подходов для клинической оценки эффективности СПП.

## Список литературы / References

- Caseiro C., Dias J.N.R., de Andrade Fontes C.M.G., Bule P. From Cancer Therapy to Winemaking: The Molecular Structure and Applications of  $\beta$ -Glucans and  $\beta$ -1, 3-Glucanases. *Int. J. Mol. Sci.* 2022;23(6):3156. doi: 10.3390/ijms23063156
- Zhang K., Dong R., Hu X., Ren C., Li Y. Oat-based foods: Chemical constituents, glycemic index, and the effect of processing. *Food. 2021;10(6):1304.* doi: 10.3390/foods10061304
- Bashir K.M.I., Choi J.S. Clinical and physiological perspectives of  $\beta$ -glucans: the past, present, and future. *Int. J. Mol. Sci.* 2017;18(9):1906. doi: 10.3390/ijms18091906
- Cummings J.H., Stephen A.M. Carbohydrate terminology and classification. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2007;61:5–18. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602936
- Murphy E.J., Rezoagli E., Major I., Rowan N.J., Laffey J.G.  $\beta$ -glucan metabolic and immunomodulatory properties and potential for clinical application. *J. Fungi (Basel)*. 2020;6(4):356. doi: 10.3390/jof6040356
- Mathews R., Kamil A., Chu Y. Global review of heart health claims for oat beta-glucan products. *Nutrition Reviews*, 78 (Suppl. 1): 78–97. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz069>
- Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю). (Глава II. Раздел 1. Требования безопасности и пищевой ценности пищевой продукции), утверждены Решением Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. № 299. Uniform sanitary-epidemiological and hygienic requirements for goods subject to sanitary-epidemiological supervision (control) [Chapter II. Section 1. Requirements for the safety and nutritional value of food products], approved by the Decision of the Commission of the Customs Union of May 28, 2010 N299.
- MP 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». MR2.3.1.0253–21 «Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation».
- Школьникова М.Н., Пономарев А.С. Применение концентратов  $\beta$ -глюканов из различных сырьевых источников в качестве пищевых добавок. Обзор. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021;10(2):109–112. Shkolnikova M.N., Ponomarev A.S. The use of  $\beta$ -glucan concentrates from various raw materials as food additives. Review. XXI century: results of the past and problems of the present plus. 10(2), 109–112. DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0020.
- Zurbau A., Noronha J., Khan T., Sievenpiper J., Wolever T.M. Oat beta-glucan and postprandial blood glucose regulation: A systematic review and meta-analysis of acute, single-meal feeding, controlled trials. *Current Developments in Nutrition*, 2020, 4(Supplement\_2), 677–677. doi: 10.1093/cdn/nzaa049\_070
- Björklund M., Rees A.V., Mensink R.P., Onning G. Changes in serum lipids and postprandial glucose and insulin concentrations after consumption of beverages with  $\beta$ -glucans from oats or barley: A randomised dose-controlled trial. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2005;59:1272–1281. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602240
- Granfeldt Y., Nyberg L., Björklund I. Muesli with 4 g oat  $\beta$ -glucans lowers glucose and insulin responses after a bread meal in healthy subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2008;62:600–607. doi: 10.1038/sj.ejcn.1602747
- Shen X.L., Zhao T., Zhou Y., Shi X., Zou Y., Zhao G. Effect of oat  $\beta$ -glucan intake on glycaemic control and insulin sensitivity of diabetic patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*. 2016;8(1):39. <https://doi.org/10.3390/nu8010039>
- Ho H.V., Sievenpiper J.L., Zurbau A., Blanco Mejia S., Jovanovski E., Au-Yeung F., Jenkins A.L., Vuksan V. The effect of oat  $\beta$ -glucan on LDL-cholesterol, non-HDL-cholesterol and apoB for CVD risk reduction: a systematic review and meta-analysis of randomised-controlled trials. *Br J Nutr.* 2016;116(8):1369–1382. doi: 10.1017/S000711451600341X
- Cronin P., Joyce S.A., O'Toole P.W., O'Connor E.M. Dietary fibre modulates the gut microbiota. *Nutrients*. 2021;13(5):1655. doi: 10.3390/nu13051655
- Wang Y., Ames NP., Tun H.M., Tosh S.M., Jones P.J., Khafipour E. High molecular weight barley  $\beta$ -glucan alters gut microbiota toward reduced cardiovascular disease risk. *Front Microbiol.* 2016;7:129. doi: 10.3389/fmicb.2016.00129.
- Xie Y., Gou L., Peng M., Zheng J., Chen L. Effects of soluble fiber supplementation on glycemic control in adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Nutr.* 2021;40(4):1800–1810. doi: 10.1016/j.clnu.2020.10.032
- Jovanovski E., Khayyat R., Zurbau A., Komishon A., Mazhar N., Sievenpiper J.L., Sonia Blanco Mejia I 2 3, Hoang Vi Thanh Ho 1, Dandan Li 1 2, Alexandra L Jenkins 1, Lea Duvnjak, Vuksan V. Should viscous fiber supplements be considered in diabetes control? Results from a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes Care*, 42(5):755–766. DOI: 10.2337/dc18-1126
- Babiker R., Elmusharaf K., Keogh M.B., Banaga A.S.I., Saeed A.M. Metabolic effect of gum Arabic (Acacia Senegal) in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM): Randomized, placebo controlled double blind trial. *Funct. Foods. Health. Dis.* 2018;7:222. doi: 10.31989/ffhd.v7i3.325.
- Do Carmo M.M.R., Walker J.C.L., Novello D., Caselato V.M., Sgarbieri V.C., Ouwehand A.C., Andreollo N.A., Hiane, P.A., Dos Santos, E.F. Polydextrose: Physiological Function, and Effects on Health. *Nutrients* 2016;8:553. <https://doi.org/10.3390/nu8090553>
- EFS Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to beta-glucans from oats and barley and maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations, increase in satiety leading to a reduction in energy intake, reduction of post-prandial glycaemic responses, and "digestive function" pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA J.* 2011, 9, 2207.
- Henion M., Francey C., Lê K.A., Lamothe L. Cereal  $\beta$ -Glucans: The Impact of Processing and How It Affects Physiological Responses. *Nutrients*. 2019;11:1729. doi: 10.3390/nu11081729
- Bonfim-Mendonça P.D.S., Capoci I.R.G., Tobaldini-Valerio F.K., Negri M., Svidzinski I.I.E. Overview of  $\beta$ -glucans from lamnaria spp.: Immunomodulation properties and applications on biologic models. *Int. J. Mol. Sci.* 2017;18(9):1629. doi: 10.3390/ijms18091629
- Smith A.J., Graves B., Child R., Rice P.J., Ma Z., Lowman D.W., Ensley H.E., Ryter, K.T., Evans J.T., Williams D.L. Immunoregulatory activity of the natural product laminarin varies widely as a result of its physical properties. *J. Immunol.* 2018;200(2):788–799. doi: 10.4049/jimmunol.1701258
- Gotteland M., Riveros K., Gasaly N., Carcamo C., Magne F., Liabeuf G., Beattie A., Rosenfeld S. The pros and cons of using algal polysaccharides as prebiotics. *Front Nutr.* 2020;7:163. doi: 10.3389/fnut.2020.00163
- van Steenwijk H.P., Bast A., de Boer A. Immunomodulating effects of fungal beta-glucans: From traditional use to medicine. *Nutrients*. 2021;13(4):1333. doi: 10.3390/nu13041333
- Meng Y., Lyu F., Xu X., Zhang L. Recent Advances in Chain Conformation and Bioactivities of Triple-Helix Polysaccharides Biomacromolecules. 2020;21(5):1653–1677. doi: 10.1021/acs.biomac.9b01644
- Velicka V., Velickova J. Glucans and Cancer: Comparison of Commercially Available  $\beta$ -glucans-Part IV. *Anticancer research*. 2018; 38(3):1327–1333. doi:10.21873/anticancer.12355
- Xiao Z., Zhou W., Zhang Y. Fungal polysaccharides. *Adv Pharmacol.* 2020;87:277–293. doi: 10.1016/bs.apha.2019.08.003
- EFS Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the safety of 'yeast beta-glucans' as a Novel Food ingredient. *EFSA J.* 2011;9(5):2137. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2137>
- Avramia I., Amariei S. Spent Brewer's yeast as a source of insoluble  $\beta$ -glucans. *Int. J. Mol. Sci.* 2021;22(2):825. doi: 10.3390/ijms22020825
- Cerletti C., Esposito S., Iacoviello L. Edible Mushrooms and Beta-Glucans: Impact on Human Health Nutrients. 2021;13(7):2195. doi: 10.3390/nu13072195
- Velicka V., Teplyakova T.V., Shintyapina A.B., Korolenko T.A. Effects of medicinal fungi-derived  $\beta$ -glucan on tumor progression. *J. Fungi (Basel)*. 2021;7(4):250. doi: 10.3390/jof7040250
- Mortensen A., Aguilar F., Crebelli R., Di Domenico A., Frutos M.J., Galtier P., Gott D., Gundert-Remy U., Lambré C., Leblanc J.C., Lindtner O., Moldeus P., Mosesso P., Oskarsson A., Parent-Massin D., Stankovic I., Waalkens-Berendsen I., Woutersen R.A., Wright M., Younes M., Brimer L., Christodoulidou A., Lodi F., Tard A., Dusemund B. EFS Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS Re-evaluation of acacia gum (E414) as a food additive. *EFSA J.* 2017;15(4):e04741. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4741
- Raza G.S., Putaala H., Hibberd A.A., Alhoniemi E., Tiitonen K., Mäkelä K.A., Herzig K.H. Polydextrose changes the gut microbiome and attenuates fasting triglyceride and cholesterol levels in Western diet fed mice. *Sci. Rep.* 2017;7(1):5294. doi: 10.1038/s41598-017-05259-3
- Saarinen M.T., Kärkkäinen O., Hanhineva K., Tiitonen K., Hibberd A., Mäkelä K.A., Raza G.S., Herzig K.H., Angenius H. Metabolomics analysis of plasma and adipose tissue samples from mice orally administered with polydextrose and correlations with cecal microbiota. *Sci. Rep.* 2020;10:21577. doi: 10.1038/s41598-020-78484-y
- Canfora E.E., Blaak E.E. The role of polydextrose in body weight control and glucose. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2015;18(4):395–400. doi: 10.1097/MCO.0000000000000184.
- Del Corral M., Gessani S., Conti L. Shaping the innate immune response by dietary glucans: any role in the control of cancer? *Cancers (Basel)*. 2020;12(1):155. doi: 10.3390/cancers12010155
- Llanaj E., Dejanovic G.M., Valido E., Bano A., Gamba M., Kastrati L., Minder B., Stojic S., Voortman T., Marques-Vidal P., Stoyanov J., Metzger B., Glisic M., Kern H., Muka T. Effect of oat supplementation interventions on cardiovascular disease risk markers: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur. J. Nutr.* 2022;1–30. doi: 10.1007/s00394-021-02763-1
- Гематинова В.М., Канарская З.А., Канарский А.В. Потенциальная возможность промышленного производства и перспективы расширения ассортимента продуктов питания, обогащенных  $\beta$ -глюканом. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2021;2 (50):82–100. Gematiнова V.M., Kanarskaja Z.A., Kanarskii A.V. Opportunities of industrial production and prospects for variety growth of food enriched with  $\beta$ -glucans. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopoznavaniye*. 2021;2 (50):82–100. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.2.82
- Яковлева С.Ю., Тригуб В.В., Попов В.Г. Совершенствование рецептур и технологий получения йогурта функциональной направленности. Индустрия питания. 2021;6(2):67–74. Yakovleva S.Y., Trigub V.V., Popov V.G. Recipes and Technologies Improvement for Yogurt Production of Functional Use. *Food industry*. 2021;6(2):67–74. DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-2-8

Статья поступила / Received 31.05.22  
 Получена после рецензирования / Revised 10.06.22  
 Принята в печать / Accepted 17.06.22

## Сведения об авторах

**Коденцова Вера Митрофановна**, д.б.н., проф., главный научный сотрудник лаборатории витаминов и минеральных веществ<sup>1</sup>. E-mail: kodentsova@ion.ru. ORCID: 0000-0002-5288-1132

**Рисник Дмитрий Владимирович**, к.б.н., ведущий научный сотрудник кафедры биофизики<sup>2</sup>. E-mail: biant3@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3389-8115

<sup>1</sup> ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва

<sup>2</sup> ФБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», биологический факультет, Москва

**Автор для переписки:** Коденцова Вера Митрофановна. E-mail: kodentsova@ion.ru

**Для цитирования:** Коденцова В.М., Рисник Д.В. Разнообразие  $\beta$ -глюканов: свойства, адекватные и клинически эффективные дозы. *Медицинский алфавит*. 2022; (16): 121–126. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>

## About authors

**Kodentsova Vera M.**, Dr Bio Sci (habil.), professor, chief researcher of the Laboratory of vitamins and minerals<sup>1</sup>. E-mail: kodentsova@ion.ru. ORCID: 0000-0002-5288-1132

**Risnik Dmitry V.**, PhD Bio Sci, leading researcher at Dept of Biophysics, Faculty of Biology<sup>2</sup>. Tel.: (495) 939-55-60. E-mail: biant3@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3389-8115

<sup>1</sup> Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Kodentsova Vera M. E-mail: kodentsova@ion.ru

**For citation:** Kodentsova V.M., Risnik D.V. Variety of  $\beta$ -glucans: properties, adequate and clinically effective doses. *Medical alphabet*. 2022; (16): 121–126. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>

