

Олигосахариды козьего молока: биологическое значение для организма ребенка

И. Н. Захарова¹

Н. Г. Сугян²

Я. В. Оробинская³

¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия, Детская городская клиническая больница имени З. А. Башляевой Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия, zakharova-rmapo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4200-4598>

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия, Химкинская больница, Химки, Россия, narine6969@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2861-5619>

³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия, Химкинская больница, поликлиника «Мама и малыш», Химки, Россия, yanashbook@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2121-4010>

Резюме

Введение. Грудное молоко является лучшим выбором для вскармливания младенца первых лет жизни. Грудное молоко позволяет передавать сигналы от матери к младенцу в рамках тесно связанной системы «мать — грудное молоко — младенец». Примечательно, что изменения, происходящие в каждом компоненте этой триады, влияют на траекторию развития младенца. Помимо обеспечения необходимыми питательными веществами, грудное молоко содержит множество биологически активных компонентов, макро- и микроэлементов, способствующих здоровому росту и развитию, позволяющих сформировать здоровую микробиоту и стимулирующих развитие иммунной системы младенца. Однако в современных реалиях женщинам не всегда удается сохранить исключительно грудное вскармливание. Нередко встает вопрос о правильном выборе молочной смеси для смешанного или искусственного вскармливания младенца. С древних времен козье молоко привлекало внимание родителей как альтернативное питание для детей. Известно, что в Европе XVIII-XIX веков козье молоко использовалось для кормления младенцев, оставленных в больницах для подкидышей, а немецкий писатель Канрад А. Цвейрлян издал книгу под названием «Коза как лучшая и наиболее действенная кормилица», где рассказал о том, что ребенок, оставшийся без матери, был выкормлен именно козьим молоком. Сегодня козье молоко называют супермолочной пищей с уникальными лечебными, питательными, иммунологическими и биологическими свойствами. Оно является источником витаминов, белков и антиоксидантов, может быть использовано для создания искусственной смеси в качестве альтернативы грудному молоку. С точки зрения питательности козье молоко заметно отличается от молока других молочных животных, обладая большей буферной способностью.

Цель работы. В настоящее время существует немало исследований, сравнивающих возможность использования молока разных видов животных (коровье, козье, буйволиное, ослиное, верблюжье и др.). В статье представлены особенности состава козьего молока, сделан акцент на молочных олигосахаридах, которые определяют часть его уникальных свойств, а также схожесть с грудным молоком.

Ключевые слова: дети, грудное вскармливание, искусственное вскармливание, олигосахариды грудного молока, грудное молоко, пребиотик, микробиота, олигосахариды козьего молока, золотой стандарт кормления ребенка.

Для цитирования: Захарова И. Н., Сугян Н. Г., Оробинская Я. В. Олигосахариды козьего молока: биологическое значение для организма ребенка. Лечащий Врач. 2024; 6 (27): 22-28. <https://doi.org/10.51793/OS.2024.27.6.003>

Конфликт интересов. Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Goat milk oligosaccharides: biological significance for the baby's body

Irina N. Zakharova¹

Narine G. Sugian²

Yana V. Orobinskaya³

¹ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia, Children's City Clinical Hospital named after Z. A. Bashlyaeva of the Department of Health of the City of Moscow, Moscow, Russia, zakharova-rmapo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4200-4598>

² Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia, Khimki Hospital, Khimki, Russia, narine6969@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2861-5619>

³ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia, Khimki Hospital, polyclinic "Mama I malysh", Khimki, Russia, yanashbook@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2121-4010>

Abstract

Background. Breast milk is the best choice for feeding an infant in the first few years of life. Breast milk allows for the transmission of signals from mother to infant within a tightly coupled mother-breast milk-infant system. Notably, the changes that occur in each component of this triad influence the infant's developmental trajectory. In addition to providing essential nutrients, breast milk contains many biologically active components, macro- and micronutrients that promote healthy growth and development, enable the formation of a healthy microbiota, and stimulate the development of the infant's immune system. However, in today's reality, women do not always manage to keep exclusively breastfeeding. Often there is a question about the right choice of milk formula for mixed or artificial feeding of the baby. Since ancient times, goat's milk has attracted the attention of parents as an alternative food for children. It is known that in Europe of XVIII-XIX centuries goat's milk was used to feed babies left in hospitals for foundlings, and the German writer Kanrad A. Zweirlian published a book called "Goat as the best and most effective nurse", where he told about the fact that a child left without a mother was fed with goat's milk. Today goat's milk is called a super milk food with unique therapeutic, nutritional, immunological and biological properties. It is a source of vitamins, proteins, and antioxidants and can be used to create artificial formula as an alternative to breast milk. From the nutritional point of view, goat's milk differs markedly from the milk of other dairy animals, having a greater buffering capacity. **Objective.** Currently, there are many studies comparing the possibility of using milk from different animal species (cow, goat, buffalo, donkey, camel, etc.). The article presents the peculiarities of goat milk composition, emphasizing on milk oligosaccharides, which determine part of its unique properties, as well as similarity with breast milk.

Keywords: children, breastfeeding, artificial feeding, breast milk oligosaccharides, breast milk, prebiotic, microbiota, goat milk oligosaccharides, gold standard of infant feeding.

For citation: Zakharova I. N., Sugian N. G., Orobinskaya Ya. V. Goat milk oligosaccharides: biological significance for the baby's body. *Lechaschi Vrach.* 2024; 6 (27): 22-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.51793/OS.2024.27.6.003>

Conflict of interests. Not declared.

Питание младенца исключительно грудным молоком в течение первых 6 месяцев жизни с продолжением грудного вскармливания (ГВ) до 1-2 лет с адекватным по возрасту введением прикорма признано золотым стандартом вскармливания детей. Созданный в ходе эволюции уникальный состав грудного молока полностью удовлетворяет биологические и психологические потребности ребенка [1]. Грудное вскармливание оказывает влияние на здоровье и развитие младенца: защищает от сахарного диабета, острых кишечных и других инфекций, снижает риск развития аллергии, улучшает когнитивные способности ребенка [2].

Грудное молоко (ГМ) позволяет передавать сигналы от матери к младенцу в рамках тесно связанной системы «мать — грудное молоко — ребенок». Примечательно, что изменения, происходящие в каждом компоненте этой триады, влияют на траекторию развития младенца [3]. Помимо обеспечения необходимыми питательными веществами, ГМ содержит множество биологически активных компонентов, макро- и микроэлементов, способствующих здоровому росту и развитию, позволяющих сформировать здоровую микробиоту и стимулирующих развитие иммунной системы младенца [4, 5]. Предполагалось, что разница в заболеваемости и смертности между младенцами на грудном и искусственном вскармливании связана с составом грудного молока.

Взаимосвязь между ГВ и здоровьем младенца основана на его питательных и биологически активных компонентах, включая олигосахариды ГМ (ОГМ) [6], которые присутствуют в нем в относительно высоких концентрациях (5–20 г/л) [7]. Ценные эффекты ОГМ влияют на формирование кишечной микробиоты, сохранность эпителиального барьера и модулирование иммунного ответа. Недавно проведенные исследования подтверждают наличие корреляционной связи между ОГМ и микробиотой ГМ. Возможно, существуют дополнительные корреляционные связи с факторами окружающей среды, генетикой, географическим положением и др. [8]. Помимо пребиотического эффекта, ОГМ ингибируют адгезию патогена к эпителиальным клеткам, обладают иммуномодулирующим действием. В исследованиях на животных и людях показан их защитный эффект от некоторых заболеваний (например, некротизирующего энтероколита) [9, 10], а также влияние на ускоренное развитие мозга [11].

Однако, когда мать не хочет или не может кормить грудью, альтернативой ГВ становится искусственная смесь. В настоящее время продукты на основе козьего молока становятся все более популярными. Представляют интерес молочные олигосахариды, которых в козьем молоке больше по сравнению с молоком других видов млекопитающих [12]. Козье молоко называют супермолочной пищей с уникальными лечебными, питательными, иммунологическими и биологическими свойствами [13]. Оно

является источником витаминов, белков и антиоксидантов, может быть использовано для создания искусственной смеси в качестве альтернативы ГМ. С точки зрения питательности козье молоко заметно отличается от молока других молочных животных [14]. Оно обладает большей буферной способностью [15, 16]. Понимание различных функциональных свойств козьего молока важно для разработки различных продуктов с улучшенной питательной ценностью (рис. 1), особенно адаптированных молочных смесей для использования в качестве источника питания младенцев и детей раннего возраста. Положительное влияние на пищеварение, функциональное состояние желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), становление кишечного микробиома, лучшее усвоение минералов — вот основные свойства смесей на основе козьего молока [17].

Рассматривая белковые фракции козьего молока, стоит отметить, что, как и в ГМ, основной казеиновой фракцией здесь является β -казеин, а сывороочной — α -лактальбумин [18]. Особенностью белковой фракции козьего молока является отсутствие белка A1 β -казеина, что обеспечивает снижение риска воспаления ЖКТ и функциональных дисфункций у младенца [19]. Исследование, проведенное на мышинной модели [20], показало, что α S1-казеин козьего молока обладает меньшей аллергенностью по сравнению с α S1-казеином коровьего молока.

Жировой состав козьего молока представлен коротко- и среднецепочечными



жирными кислотами (ЖК) (6–10 атомов углерода), что также увеличивает его сходство с ГМ. Эти ЖК метаболизируются иначе, чем ЖК с длинной цепью, они более доступны в качестве источника энергии. Уменьшенный размер жировых глобул облегчает переваривание козьего молока. В нем содержится больше ретинола, свободных аминокислот (особенно таурина), но ниже уровни витамина B₁₂ и фолиевой кислоты [21].

Козье молоко содержит лактозу, концентрация которой меняется в зависимости от рациона питания животного, а также высокий уровень олигосахаридов (содержание сиаловой кислоты в четыре раза выше, чем в коровьем молоке) [22, 23].

Молочные олигосахариды (МОС) — сложные неперевариваемые углеводы. Наиболее изучены МОС грудного молока человека, а также коровьего, бычьего, козьего и овечьего. МОС являются третьим по распространенности компонентом ГМ: их уровень превышает 20 г/л в молозиве и колеблется от 5 до 12 г/л в зрелом молоке. Козье молоко содержит больше МОС, но в целом их уровень в 100 раз ниже содержания ОГМ женщины. Различия в выявленных структурах частично можно объяснить тем, что ГМ изучается более интенсивно, с использованием разнообразных методов, что приводит к большему количеству идентифицированных ОГМ по сравнению с МОС в молоке коз [24]. На сегодняшний день средние зарегистрированные концентрации МОС в зрелом козьем молоке составляют 60–350 мг/л, а в молозиве достигают 2,4 г/л [25].

ОГМ происходят из лактозы. Они подразделяются на два класса — нейтраль-

ные, не содержащие заряженных остатков моносахаридов, и кислые, содержащие один или несколько отрицательно заряженных остатков сиаловой кислоты [26].

ХИМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОЛИГОСАХАРИДОВ КОЗЬЕГО МОЛОКА

В козьем молоке около 70% нейтральных, фукозилированных олигосахаридов, тогда как женское молоко содержит 80–90% кислых олигосахаридов, с незначительным количеством фукозилированных нейтральных структур. В этом существенная разница между олигосахаридами женского и козьего молока.

Кислые олигосахариды могут реагировать с другими компонентами ГМ и обладать электрическим зарядом. Они могут иметь отрицательно заряженные остатки сиаловой кислоты (Sia) [27]. Основной Sia олигосахаридов молока является N-ацетилнейраминавая кислота (Neu5Ac), при этом также были идентифицированы N-гликолилнейраминавая кислота (Neu5Gc); 4-, 7- или 8-О-ацетил-N-ацетилнейраминавые кислоты и 2-кето-3-дезоксинонулозоновая кислота (Kdn) [28, 29]. ГМ содержит почти исключительно Neu5Ac, в то время как Neu5Gc и Neu5Ac обнаруживаются в молоке других животных (овец, крупного рогатого скота и коз), хотя и в разных количествах [30].

Мартин-Ортис и др. оценили природные олигосахариды испанской породы молочных коз Мурчано-Гранадина, присутствующие в образцах их молозива, с помощью количественных и качественных методов. Всего они идентифицировали 78 компонентов олигосахаридов, включая нейтральные

фукозилированные, нейтральные нефукозилированные и сиалилированные (Ne5Ac/Neu5Gc), имеющие значения 3,8%, 51,3% и 44,9% соответственно [31].

Было показано, что олигосахариды, содержащие остаток сиаловой кислоты (NeuAc), снижают адгезию лейкоцитов к эндотелиальным клеткам, что указывает на иммунорегуляторный эффект [32]. Лакто-N-биозная единица (Gal-[β1-3]-GlcNAc), по-видимому, также связана с оздоровительным действием олигосахаридов, поскольку она описана как незаменимый бифидогенный фактор ГМ [33]. Более того, олигосахариды козьего молока (как и человеческого) богаты галактозиллактозами, причем преобладают следующие формы — 3'-галактозиллактоза (3'-GL) и 6'-галактозиллактоза (6'-GL). У человека же преобладающей формой является LNnT, а также удлинённая фукозилированная олигосахаридная цепь α1-2 (2'FL), α1-3 (3'FL), тогда как сиализированная с помощью связей α2-3 (3'SL) или α2-6 (6'SL) встречается в козьем молоке.

Особое внимание следует обратить на α(1-, 2-)фукозилированные олигосахариды, которые ингибируют рост *Campylobacter*, *Norovirus* и продуцирующей токсины *Escherichia coli*, а также снижают риск диареи у детей [34]. Недавно было высказано предположение, что 2'-фукозиллактоза (2'-FL) и лакто-N-фукопентаоза (Lnfp) обладают общим иммуномодулирующим действием [35].

К сожалению, во многих регионах мира козье молоко характеризуют как «прогорклое, соленое или сладкое» и практически невозможно заставить кого-либо попробовать его после такой оценки. Негативное восприятие обществом вкуса козьего молока и его сезонное производство являются двумя наиболее серьезными препятствиями к продвижению данного продукта. Истоки этого мифа кроются в том, что козье молоко порой добывается в антисанитарных условиях, а изготовленные продукты производятся некачественными. Только широкое распространение информации о пользе козьего молока для здоровья и его восхитительном вкусе может потенциально изменить эту негативную репутацию [36].

Учитывая приведенное выше описание структурного воздействия олигосахаридов козьего молока на здоровье младенца и их сходства с ОГМ, можно предположить, что козье молоко может быть первым выбором в качестве естественного источника человеческих олигосахаридов. Говоря о влиянии ОГМ на здоровье младенцев, необходимо

отметить, что благодаря своей способности противостоять кислой среде желудка, а также способности к ферментативному расщеплению в верхних отделах ЖКТ, они могут оказывать пребиотическое действие в его нижних отделах, способствуя росту *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* в толстой кишке [37]. Считается, что микробиота, в которой преобладают *Bifidobacterium*, способна активировать иммунную систему и подавлять патогены [38]. К тому же некоторые данные свидетельствуют о том, что *Bifidobacterium* способствует производству короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые обеспечивают кислую среду в толстой кишке, тем самым предотвращая рост бактериальных патогенов, а также могут снизить риск развития аллергии у младенцев [39].

Как отмечалось ранее, козье молоко содержит встречающиеся в природе олигосахариды, хотя и в меньших концентрациях и разнообразии, чем в женском молоке, но все же профиль олигосахаридов козьего молока более сходен с профилем олигосахаридов женского молока [41]. Результаты исследования Nayik и соавт. показывают, что в детской смеси на основе козьего молока было обнаружено 14 олигосахаридов, в том числе 7 основных и 5 сходных с ГМ (3'-SL, 6'-SL, 2'-SL, LNH, LNT) [42].

Растительные или синтетические олигосахариды часто добавляют в детские смеси для имитации бифидогенного эффекта [40]. Было показано, что синтезированные олигосахариды, например, галактоолигосахариды (ГОС) и фруктоолигосахариды (ФОС), способны имитировать функции женского молока [43]. Проведенные ранее клинические исследования продемонстрировали, что добавление в детские смеси ГОС стимулирует рост бифидобактерий в толстой кишке, приводит к снижению pH кала и увеличению в нем концентрации лактата. В исследовании 2021 года на мышиной модели функциональные прогнозы показали, что ФОС снижает количество кишечных бактериальных инфекций и улучшает состояние эндокринной и иммунной систем [44].

Таким образом, использование определенных фракций козьего молока в детских смесях может обеспечить некоторые пребиотические преимущества для развития созревающего кишечника ребенка на искусственном вскармливании.

Известно, что 2'-FL присутствует в козьем молоке. В исследовании A. R. Prudden и соавт. [45] было показано, что они играют значительную роль

в защите от инфекции. Младенцы с высоким уровнем 2'-FL проявляют большую устойчивость к стабильному токсину *E. coli* и *Campylobacter* [46].

В исследовании F. Lara-Villoslada и соавт. [47] изучали влияние МОС на раннее выздоровление от экспериментально вызванного колита, используя модель крысы. Результаты этого исследования показали, что МОС активно участвуют в процессе восстановления после колита. Авторы предположили, что это может быть связано либо с конкурентным взаимодействием МОС со специфическими патогенами, либо с пребиотическим эффектом. Таким образом, возможно, что, связываясь с определенными патогенами, МОС лишают их способности связываться со своими мишенями, т. е. рецепторами эпителиальных поверхностных клеток слизистой оболочки. Более того, олигосахариды могут благотворно влиять на хозяина, избирательно стимулируя рост и (или) активность ряда бактерий в толстой кишке [48]. Использование МОС в качестве пребиотических противовоспалительных средств также было предложено Daddaoua и соавт., которые тоже наблюдали уменьшение воспаления толстой кишки и меньшее количество некротических поражений в группе с экспериментально вызванным колитом у крыс [49].

Олигосахариды, выделенные из козьего молока в исследовании A. Leong и соавт., показали способность значительно усиливать рост *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* и снижать адгезию *E. coli* NCTC 10418 и *S. typhimurium* к клеткам Caco-2 (от cancer coli — рак толстой кишки). В сово-

купности эти результаты свидетельствуют о том, что олигосахариды, естественным образом присутствующие в детских смесях на основе козьего молока, также обладают сильными пребиотическими и антипатогенными свойствами и могут способствовать оздоровлению кишечника младенцев [50]. Рассматривая относительно небольшое количество рандомизированных контролируемых исследований с использованием детской смеси на козьем молоке, также можно подтвердить эти заключения [51]. Анализ фекальной микробиоты двухмесячных детей, получавших детскую смесь на основе козьего молока, выявил рост *Bifidobacterium* и *Lachnospiraceae* [52]. *Bifidobacterium* доминируют в микробиоте независимо от того, вскармливают ли младенца ГМ или молочной смесью, но последовательности ДНК микробиоты были более сходными при сравнении групп детей, вскармливаемых ГМ и цельным козьим молоком [53, 54].

Помимо 2'-FL, смеси, произведенные из козьего молока, содержат высокий уровень Sia, а показатели Neu5Gc превышают уровни во всех смесях на основе коровьего молока более чем в 3 раза [55]. Роль Neu5Gc в здоровье человека до сих пор неясна, но сообщалось, что Neu5Gc связан с хроническим воспалением, раком и ишемической болезнью сердца [56].

У молодых млекопитающих олигосахариды, содержащие Neu5Gc, играют важную роль в защите от инфекций. Трисахарид Neu5Gc(α2-3)Гал(β1-4)Glc в составе гликолипидов N-гликолил-GM3 действует как «приманка» для патогенных микроорганизмов [57].



Рис. 2. **Метаболизм и возможные профилактические эффекты олигосахаридов козьего молока** [адаптировано по M. J. R. Lima и соавт., 2017] / Metabolism and possible preventive effects of goat milk oligosaccharides (GOS) [adapted after M. J. R. Lima et al., 2017]

В целом олигосахариды козьего молока могут оказывать широкий спектр полезных эффектов (рис. 2). Важно отметить, что добавление в детские молочные смеси одного и более изолированного или синтетического МОС может привести к более убедительным выводам относительно их функциональной роли в здоровье ребенка [58].

Детские смеси МАМАКО® Premium на основе козьего молока с добавлением 2'-фукозиллактозы (пребиотик, идентичный ОГМ) и ГОС (получен в результате ферментативного синтеза лактозы) способствуют формированию кишечного микробиома. Наличие в них сходных с ГМ природных олигосахаридов козьего молока обеспечивает широкий спектр полезных пребиотических эффектов, антиадгезивных свойств (ловушки для патогенов), модуляции ответов эпителиальных клеток кишечника и защиту от различных (тяжелых) заболеваний.

Данные мультицентрового открытого рандомизированного исследования показали, что вскармливание смесью на основе козьего молока МАМАКО® 1 здоровых доношенных младенцев улучшает метаболизм кишечной микрофлоры, снижает вероятность воспаления слизистой оболочки кишечника, выраженность и длительность младенческих колик, что в результате приводит к предотвращению функциональных нарушений ЖКТ, формированию нормальной микробиоты кишечника и может способствовать улучшению уровня интеллектуального и физического развития детей [59].

Подводя итог вышесказанному, смеси на основе козьего молока могут стать первым выбором при невозможности ГВ, поскольку являются не только безопасной альтернативой, но и имеют ряд преимуществ перед молочной смесью из коровьего молока. **ЛВ**

Вклад авторов:

Авторы внесли равный вклад на всех этапах работы и написания статьи.

Contribution of authors:

All authors contributed equally to this work and writing of the article at all stages.

Литература/References

1. Nuzzi G., Trambusti I., DI Cicco M. E., Peroni D. G. Breast milk: more than just nutrition! *Minerva Pediatr* (Torino). 2021; 73 (2): 111-114. DOI: 10.23736/S2724-5276.21.06223-X. PMID: 33880902.
2. De Weerth C., Aatsinki A.-K., Azad M. B., Bartol F. F., Bode L., Collado M. C., Beijers, R. (2022). Human milk: From complex tailored nutrition to bioactive

- impact on child cognition and behavior. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-38. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2053058>.
3. Bode L., Raman A. S., Murch S. H., Rollins N. C., Gordon J. I. Understanding the mother-breastmilk-infant "triad". *Science*. 2020; 367: 1070-1072.
4. Sprenger N., Tytgat H. L. P., Binia A., Austin S., Singhal A. Biology of human milk oligosaccharides: from basic science to clinical evidence. *J Hum Nutr Diet*. 2022; 35 (2): 280-299. 10.1111/jhn.12990.
5. Bode L. Human milk oligosaccharides: Every baby needs a sugar mama. *Glycobiology*, 2012; 22 (9): 1147-1162. <https://doi.org/10.1093/glycob/cws074>.
6. Bode L. The functional biology of human milk oligosaccharides. *Early Hum Dev*. 2015; 91 (11): 619-622.
7. Thurl S., Munzert M., Boehm G., Matthews C., Stahl B. Systematic Review of the Concentrations of Oligosaccharides in Human Milk. *Nutr. Rev*. 2017; 75: 920-933.
8. Moubareck C. A. Human Milk Microbiota and Oligosaccharides: A Glimpse into Benefits, Diversity, and Correlations. *Nutrients*. 2021; 13 (4): 1123. DOI: 10.3390/nu13041123. PMID: 33805503; PMCID: PMC8067037.
9. Jantscher-Krenn E., Zhrebtsov M., Nissan C., Goth K., Guner Y. S., Naidu N., Choudhury B., Grishin A. V., Ford H. R., Bode L. The Human Milk Oligosaccharide Disialyllacto-N-Tetraose Prevents Necrotising Enterocolitis in Neonatal Rats. *Gut*. 2012; 61: 1417-1425.
10. Autran C. A., Kellman B. P., Kim J. H., Asztalos E., Blood A. B., Spence E. C. H., Patel A. L., Hou J., Lewis N. E., Bode L. Human Milk Oligosaccharide Composition Predicts Risk of Necrotising Enterocolitis in Preterm Infants. *Gut*. 2018; 67: 1064-1070.
11. Jacobi S. K., Yatsunenkov T., Li D., Dasgupta S., Yu R. K., Berg B. M., Chichlowski M., Odle J. Dietary Isomers of Sialyllactose Increase Ganglioside Sialic Acid Concentrations in the Corpus Callosum and Cerebellum and Modulate the Colonic Microbiota of Formula-Fed Piglets. *J. Nutr*. 2016; 146: 200-208.
12. Urashima T., Taufik E. Oligosaccharides in milk: their benefits and future utilization. *Media Peternakan*. 2011; 33: 189-197.
13. Marques de Almeida M., Haenlein G. F. W. Goat Milk. In *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2017; pp. 11-41, ISBN 978-1-119-11031-6.
14. Mal G., Singh B., Mane B. G., Sharma V., Sharma R., Bhar R., Dhar J. B. Milk Composition, Antioxidant Activities and Protein Profile of Gaddi Goat Milk. *J. Food Biochem*. 2018; 42: e12660.
15. Park Y. W. Goat Milk – Chemistry and Nutrition. In *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*; John Wiley & Sons, Ltd.: Hoboken, NJ, USA, 2017; pp. 42-83, ISBN 978-1-119-11031-6.
16. Park Y. W., Judrez M., Ramos M., Haenlein G. F. W. Physico-Chemical Characteristics of Goat and Sheep Milk. *Small Rumin. Res*. 2007; 68: 88-113.
17. Prosser C. G. Compositional and Functional Characteristics of Goat Milk and Relevance as a Base for Infant Formula. *J. Food Sci*. 2021; 86: 257-265.
18. Trujillo A. J., Casals I., Guamis B. Analysis of Major Caprine Milk Proteins by Reverse-Phase High-Performance Liquid Chromatography and Electrospray Ionization-Mass Spectrometry. *J. Dairy Sci*. 2000; 83: 11-19.
19. Захарова И. И., Холодова И. И., Нечаева В. В. Смеси на основе козьего молока: есть ли преимущества? *Медицинский Совет*. 2016; (16): 22-26. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-16-22-26>.
Zakharova I. N., Kholodova I. N., Nechaeva V. V. Goat milk infant formula: are there benefits? *Meditinskiy sovet*. 2016; (16): 22-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2016-16-22-26>.
20. Zhang K., Zhang L., Zhou R., Zhong J., Xie K., Hou Y., Zhou P. Cow's milk αS1-casein is more sensitizing than goat's milk αS1-casein in a mouse model. *Food Funct*. 2022; 13 (12): 6484-6497. DOI: 10.1039/d2fo01136k. PMID: 35616505.
21. Ponnampalam E. N., Priyashantha H., Vidanaratchchi J. K., Kiani A., Holman B. W. B. Effects of Nutritional Factors on Fat Content, Fatty Acid Composition, and Sensorial Properties of Meat and Milk from Domesticated Ruminants: An Overview. *Animals (Basel)*. 2024; 14 (6): 840. DOI: 10.3390/ani14060840. PMID: 38539939; PMCID: PMC10967350.
22. Muehlhoff E., Bennet A., McMahon D. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO).
23. Verdici E., D'Elios S., Cerrato L., Comberlati P., Calvani M., Palazzo S., Martelli A., Landi M., Trikamjee T., Peroni D. G. Cow's Milk Substitutes for Children: Nutritional Aspects of Milk from Different Mammalian Species, Special Formula and Plant-Based Beverages. *Nutrients*. 2019; 11: 1739. <https://doi.org/10.3390/nu11081739>.
24. Martinez-Ferez A., Guadix A., Guadix E. M. Recovery of Caprine Milk Oligosaccharides with Ceramic Membranes. *J. Membr. Sci*. 2006; 276 (1): 23-30.
25. Meyrand M., Dallas D. C., Caillat H., Bouvier F., Martin P., Barile D. Comparison of Milk Oligosaccharides between Goats with and without the Genetic Ability to Synthesize As1-Casein. *Small Rumin. Res. J. Int. Goat Assoc*. 2013; 113 (2-3): 411-420.
26. Gopal P. K., Gill H. S. Oligosaccharides and glycoconjugates in bovine milk and colostrums. *Br J Nutr*. 2000; 84: S69-S74.
27. Mehra R., Kelly P. Milk Oligosaccharides: Structural and Technological Aspects. *Int. Dairy J*. 2006; 16: 1334-1340. [CrossRef].
28. Meyrand M., Dallas D. C., Caillat H., Bouvier F., Martin P., Barile D. Comparison of Milk Oligosaccharides between Goats with and without the Genetic Ability to Synthesize As1-Casein. *Small Rumin. Res*. 2013; 113: 411-420. [CrossRef] [PubMed].
29. Wang B., Brand-Miller J., McVeagh P., Petocz P. Concentration and distribution of sialic acid in human milk and infant formulas. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2001; 74 (4): 510-515. <https://doi.org/10.1093/ajcn/74.4.510>.

30. Boehm G., Stahl B. Oligosaccharides from Milk. *J. Nutr.* 2007; 137: 847S-849S. [CrossRef].
31. Martín-Ortiz A., Barile D., Salcedo J., Moreno F. J., Clemente A., Ruiz-Matute A. I., Sanz M. L. Changes in Caprine Milk Oligosaccharides at Different Lactation Stages Analyzed by High Performance Liquid Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *J. Agric. Food Chem.* 2017; 65: 3523-3531.
32. Bode L., Kunz C., Muhly-Reinholz M., Mayer K., Seeger W., Rudloff S. Inhibition of monocyte, lymphocyte, and neutrophil adhesion to endothelial cells by human milk oligosaccharides. *Thromb. Haemost.* 2004; 92: 1402-1410.
33. Kitaoka M., Tian J., Nishimoto M. Novel putative galactose operon involving lacto-N-biose phosphorylase in *Bifidobacterium longum*. *Appl Environ Microbiol.* 2005; 71: 3158-3162.
34. Huang P., Farkas T., Marionneau S., Zhong W., Ruvoën-Clouet N., Morrow A. L., Altaye M., Pickering L. K., Newburg D. S., LePendu J., Jiang X. Noroviruses bind to human ABO, Lewis, and secretor histo-blood group antigens: identification of 4 distinct strain-specific patterns. *J Infect Dis.* 2003; 188: 19-31.
35. Sotgiu S., Arru G., Fois M. L., Sanna A., Musumeci M., Rosati G., Musumeci S. Immunomodulation of fucosyl-lactose and lacto-N-fucopentaose on mononuclear cells from multiple sclerosis and healthy subjects. *Int J Biomed. Sci.* 2006; 2: 114-120.
36. Park Y. 12-Improving Goat Milk. In *Improving the Safety and Quality of Milk*; Griffiths M. W., Ed.; Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2010; pp. 304-346, ISBN 978-1-84569-806-5.
37. Mollova D., Vasileva T., Bivolarski V., Iliev I. The Enzymatic Hydrolysis of Human Milk Oligosaccharides and Prebiotic Sugars from LAB Isolated from Breast Milk. *Microorganisms.* 2023; 11 (8): 1904. DOI: 10.3390/microorganisms11081904. PMID: 37630464; PMCID: PMC10458952.
38. Salli K., Hirvonen J., Siitonen J., Ahonen I., Angenius H., Maukonen J. Selective Utilization of the Human Milk Oligosaccharides 2'-Fucosyllactose, 3-Fucosyllactose, and Difucosyllactose by Various Probiotic and Pathogenic Bacteria. *J Agric Food Chem.* 2021; 69 (1): 170-182. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c06041. Epub 2020 Dec 31. PMID: 33382612.
39. Henrick B. M., Rodriguez L., Lakshmikanth T., Pou C., Henckel E., Arzoomand A., Olin A., Wang J., Mikes J., Tan Z., Chen Y., Ehrlich A. M., Bernhardsson A. K., Mugabo C. H., Ambrosiani Y., Gustafsson A., Chew S., Brown H. K., Prambs J., Bohlin K., Mitchell R. D., Underwood M. A., Smilowitz J. T., German J. B., Frese S. A., Brodin P. Bifidobacteria-mediated immune system imprinting early in life. *Cell.* 2021; 184 (15): 3884-3898.e11. DOI: 10.1016/j.cell.2021.05.030. Epub 2021 Jun 17. PMID: 34143954.
40. Boulangé C. L., Pedersen H. K., Martin F. P., Siegwald L., Pallegà Caro A., Eklund A. C., Jia W., Zhang H., Berger B., Sprenger N., Heine R. G., Cinnamon Study Investigator Group. An Extensively Hydrolyzed Formula Supplemented with Two Human Milk Oligosaccharides Modifies the Fecal Microbiome and Metabolome in Infants with Cow's Milk Protein Allergy. *Int J Mol Sci.* 2023; 24 (14): 11422. DOI: 10.3390/ijms241411422. PMID: 37511184; PMCID: PMC10379726.
41. Kiskini A., Difilippo E. Oligosaccharides in goat milk: structure, health effects and isolation. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand).* 2013; 59 (1): 25-30. PMID: 24200018.
42. Nayik Gulzar Ahmad, Yash D. Jagdale, Sailee A. Gaikwad, Anupama N. Devkotte, Aamir Hussain Dar, Mohammad Javed Ansari. Nutritional Profile, Processing and Potential Products: A Comparative Review of Goat Milk. 2022; *Dairy* 3, no. 3: 622-647. <https://doi.org/10.3390/dairy3030044>.
43. Boehm G., Stahl B. Oligosaccharides from Milk. *J. Nutr.* 2007; 137: 847-849.
44. Han Y., Ma H., Liu Y., Zhao Y., Li L. Effects of goat milk enriched with oligosaccharides on microbiota structures, and correlation between microbiota and short-chain fatty acids in the large intestine of the mouse. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (3): 2773-2786. DOI: 10.3168/jds.2020-19510. Epub 2021 Jan 15. PMID: 33455783.

45. Prudden A. R., Liu L., Capicciotti C. J., Wolfert M. A., Wang S., Gao Z., Meng L., Moremen K. W., Boons G.-J. Synthesis of Asymmetrical Multiantennary Human Milk Oligosaccharides. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2017; 114 (27): 6954-6959.
46. Newburg D. S., Ruiz-Palacios G. M., Altabe M., et al. Innate protection conferred by fucosylated oligosaccharides of human milk against diarrhea in breastfed infants. *Glycobiology*. 2004; 14: 253-263.
47. Martin M. J., Lara-Villoslada F., Morales M. E. Microencapsulation of Bacteria: A Review of Different Technologies and Their Impact on the Probiotic Effects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015; 27: 15-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>.
48. Kunz C., Rudloff S. Health promoting aspects of milk oligosaccharides. *Int. Dairy J.* 2006; 16: 1341-1346.
49. Daddaoua A., Puerta V., Requena P., Martinez-Ferez A., Guadix E., de Medina F.S., Zarzuelo A., Suarez M. D., Boza J. J., Martinez-Augustin O. Goat milk oligosaccharides are anti-inflammatory in rats with hapten-induced colitis. *J Nutr.* 2006; 136: 672-676.
50. Leong A., Liu Z., Almshawit H., Zisu B., Pillidge C., Rochfort S., Gill H. Oligosaccharides in goats' milk-based infant formula and their prebiotic and anti-infection properties. *Br J Nutr.* 2019; 122 (4): 441-449. DOI: 10.1017/S000711451900134X. PMID: 31196229.
51. Hawke K., Louise J., Collins C., Zhou S. J., Brown A., Gibson R., Makrides M. Growth Patterns during the First 12 Months of Life: Post-Hoc Analysis for South Australian Aboriginal and Caucasian Infants in a Randomised Controlled Trial of Formula Feeding. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 2017; 26 (3): 464-470.
52. Tannock G. W., Lawley B., Munro K., Gowri Pathmanathan S., Zhou S. J., Makrides M., Gibson R. A., Sullivan T., Prosser C. G., Lowry D., Hodgkinson A. J. Comparison of the Compositions of the Stool Microbiotas of Infants Fed Goat Milk Formula, Cow Milk Based Formula, or Breast Milk. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013; 79 (9): 3040-3048.
53. Lawley B., Munro K., Hughes A., Hodgkinson A. J., Prosser C. G., Lowry D., Zhou S. J., Makrides M., Gibson R. A., Lay C., Chew C., Lee P. S., Wong K. H., Tannock G. W. Differentiation of Bifidobacterium Longum Subspecies Longum and Infants by Quantitative PCR Using Functional Gene Targets. *Peer J.* 2017; 5: No. e3375.
54. Tannock G. W., Lee P. S., Wong K. H., Lawley B. Why Don't All Infants Have Bifidobacteria in Their Stool? *Front. Microbiol.* 2016; 7: 834.
55. Tolenaars L., Romanazzi D., Carpenter E., Gallier S., Prosser C. G. Minor dietary components intrinsic to goat milk and goat milk formulas. *International Dairy Journal*. 2021; 117: Article 105012. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105012>.
56. Pundir S., Gridneva Z., Pillai A., Thorstensen E. B., Wall C. R., Geddes D. T., Cameron-Smith D. Human milk glucocorticoid levels are associated with infant adiposity and head circumference over the first year of life. *Frontiers in Nutrition*. 2020; 7(September): 1-8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00166>.
57. Kyogashima, M., Ginsburg, V., Krivan, H. C. Escherichia Coli K99 Binds to N-Glycolylsialoparagloboside and N-Glycolyl-GM3 Found in Piglet Small Intestine. *Arch. Biochem. Biophys.* 1989; 270 (1): 391-397.
58. Bühner C., Ensenauer R., Jochum F., Kalhoff H., Koletzko B., Lawrenz B., Mihatsch W., Posovszky C., Rudloff S. Infant Formulas with Synthetic Oligosaccharides and Respective Marketing Practices: Position Statement of the German Society for Child and Adolescent Medicine e.V. (DGKJ), Commission for Nutrition. *Mol. Cell. Pediatr.* 2022; 9 (1): 14.
59. Холодова И. Н., Титова Т. А., Кудярова Л. Р., Кулакова Г. А., Нечаева В. В., Фетисова Т. Г. и др. Смеси на основе козьего молока: возможно ли их использование в питании детей первых месяцев жизни. *Практическая медицина*. 2017; 10 (111): 35-43.

Сведения об авторах:

Захарова Ирина Николаевна, д.м.н., профессор, заслуженный врач Российской Федерации, заведующая кафедрой педиатрии имени Г. Н. Сперанского, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1; заведующая кафедрой педиатрии, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Детская городская клиническая больница имени З. А. Бахляевой Департамента здравоохранения города Москвы»; zakharova-rmapo@yandex.ru

Сугян Нарине Григорьевна, к.м.н., доцент кафедры педиатрии имени академика Г. Н. Сперанского, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1; заместитель главного врача, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Химкинская больница»; Россия, 141407, Московская область, Химки, Куркинское ш., 11; narine6969@mail.ru;

Оробинская Яна Владимировна, аспирант, кафедра педиатрии имени академика Г. Н. Сперанского, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1; педиатр, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Химкинская больница», поликлиника «Мама и малыш»; Россия, 141400, Московская область, г. Химки, ул. Родионова, 1; yanashbook@mail.ru

Information about the authors:

Irina N. Zakharova, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Honoured Doctor of the Russian Federation, Head of the Department of Pediatrics named after Academician G. N. Speransky, Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2/1 Barrikadnaya str., Moscow, 125993, Russia; Head of the Department of Pediatrics, State Budgetary Healthcare Institution of the City of Moscow Children's City Clinical Hospital named after Z. A. Bashlyeva of the Department of Health of the City of Moscow; zakharova-rmapo@yandex.ru

Narine G. Sugian, Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Pediatrics named after Academician G. N. Speransky, Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation; Russia, 125993, Moscow, 2/1 Barrikadnaya str., building 1; Deputy Chief Physician, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region Khimki Hospital; 11 Kurkinskoe sh., Khimki, Moscow region, Russia, 141407; narine6969@mail.ru;

Yana V. Orobinskaya, PhD student, Department of Pediatrics named after Academician G. N. Speransky, Federal State Budgetary Educational Institution of Additional Professional Education Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation; 2/1 Barrikadnaya str., Moscow, 125993, Russia; pediatrician, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region "Khimki Hospital", polyclinic Mama I malyshe; 1 Rodionov str., Khimki, Moscow region, 141400, Russia; yanashbook@mail.ru

Поступила/Received 11.04.2024

Поступила после рецензирования/Revised 15.05.2024

Принята в печать/Accepted 17.05.2024