

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ГРУДНОГО МОЛОКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ ЛАКТАЦИИ У ЖЕНЩИН ПОСЛЕ ПРЕЖДЕВРЕМЕННЫХ И СРОЧНЫХ РОДОВ

© Светлана Евгеньевна Павлова¹, Лариса Арзумановна Федорова¹,
Анна Анатольевна Фоменко¹, Валерия Павловна Новикова¹, Галина Николаевна Чумакова¹,
Александра Сергеевна Панченко¹, Елена Венедиктовна Бем¹, Виктория Алексеевна Яковлева¹,
Марина Ивановна Леваднева¹, Екатерина Геннадьевна Батоцыренова¹,
Илья Владимирович Кукес², Тимофей Дмитриевич Лунегов², Вадим Анатольевич Кашуро¹,
Виктория Александровна Чучина³, Анатолий Ильич Хавкин^{4, 5}

¹ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

² ООО «Хромсистемслаб». 117246, г. Москва, Научный проезд, д. 20, стр. 2, Российская Федерация

³ ООО «Люмекс». 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Михайлова, д. 11, литер И, кор. 205, Российская Федерация

⁴ Научно-исследовательский клинический институт детства Министерства здравоохранения Московской области. 115093, г. Москва, Большая Серпуховская ул., д. 62, Российская Федерация

⁵ Белгородский государственный национальный исследовательский университет. 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85, Российская Федерация

Контактная информация:

Светлана Евгеньевна Павлова — ассистент, кафедра неонатологии с курсами неврологии и акушерства-гинекологии
ФП и ДПО. E-mail: svetlanapav.spb@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5423-0950> SPIN: 1761-4768

Для цитирования:

Павлова С.Е., Федорова Л.А., Фоменко А.А., Новикова В.П., Чумакова Г.Н., Панченко А.С., Бем Е.В., Яковлева В.А., Леваднева М.И., Баторыренова Е.Г., Кукес И.В., Лунегов Т.Д., Кашуро В.А., Чучина В.А., Хавкин А.И. Сравнительная оценка компонентов грудного молока в зависимости от стадии лактации у женщин после преждевременных и срочных родов. *Children's Medicine of the North-West*. 2025;13(2):151–166. DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2025.14.48.014>

Поступила: 21.02.2025

Одобрена: 17.04.2025

Принята к печати: 18.06.2025

РЕЗЮМЕ. Введение. Развитие современных лабораторных технологий позволяет определить индивидуальные особенности состава грудного молока (ГМ) и нутритивные потребности новорожденных детей. **Цель исследования** — изучить особенности аминокислотного, жирового и микроэлементного профиля ГМ в зависимости от стадии лактации и гестационного возраста ребенка. **Материалы и методы.** Для анализа была взята 21 проба грудного молока на 3-, 7- и 21-е сутки у женщин, родивших в срок (n=12) и преждевременно (n=9). **Результаты.** Продемонстрированы значимые различия в составе грудного молока в профиле треонина, триптофана и таурина. При исследовании состава жирных кислот результаты характеризовались высоким содержанием незаменимых полиненасыщенных жирных кислот у недоношенных детей с ранних стадий лактации. Несмотря на отсутствие статистически достоверных различий в нашем исследовании вследствие малой выборки, выявленные результаты соответствуют трендам многочисленных исследовательских работ и литературных обзоров, продемонстрировавших корреляционные изменения в составе молока в зависимости от стадии лактации и гестационного возраста к сроку родов. При изучении содержания микроэлементов, включая эссенциальные, отмечена широкая вариабельность значений в пробах ГМ. Результаты оценки уровня таких элементов, как цинк, марганец, свидетельствовали о выраженном дефиците этих элементов в зрелом молоке женщин с доношенным сроком беременности. Также в двух пробах мы получили превышающий уровень содержания олова и свинца. **Выводы.** Учитывая малую выборку проб и использование экспериментальной методики изучение проблемы требует дополнительных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грудное молоко, новорожденные, недоношенные дети, аминокислоты грудного молока, жирные кислоты грудного молока, микроэлементы грудного молока

DOI: 10.56871/CmN-W.2025.14.48.014

COMPARATIVE ASSESSMENT OF BREAST MILK COMPONENTS DEPENDING ON THE STAGE OF LACTATION IN WOMEN AFTER PREMATURE AND FULL-TERM LABOUR

© Svetlana E. Pavlova¹, Larisa A. Fedorova¹, Anna A. Fomenko¹, Valeria P. Novikova¹, Galina N. Chumakova¹, Aleksandra S. Panchenko¹, Elena V. Bem¹, Victoria A. Yakovleva¹, Marina I. Levadneva¹, Ekaterina G. Batotsyrenova¹, Ilya V. Kukes², Timofey D. Lunegov², Vadim A. Kashuro¹, Victoria A. Chuchina³, Anatoly I. Khavkin^{4,5}

¹ Saint Petersburg State Pediatric Medical University. Lithuania 2, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

² LLC «ChromsystemsLab». 20, str. 2 Nauchnyy proyezd, Moscow 117246 Russian Federation

³ LLC «Lumex». 11, liter I, kor. 205, Michailova str., Saint Petersburg 195009 Russian Federation

⁴ Research Clinical Institute of Childhood of the Ministry of Health of the Moscow Region. 62 Bolshaya Serpukhovskaya str., Moscow 115093 Russian Federation

⁵ Belgorod State National Research University, Medical Institute. 85 Pobeda str., Belgorod 308015 Russian Federation

Contact information:

Svetlana E. Pavlova — Assistant of the Department of Neonatology with courses in Neurology and Obstetrics and Gynecology, Faculty of Additional Postgraduate Education. E-mail: svetlanapav.spb@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5423-0950> SPIN: 1761-4768

For citation:

Pavlova SE, Fedorova LA, Fomenko AA, Novikova VP, Chumakova GN, Panchenko AS, Bem EV, Yakovleva VA, Levadneva MI, Batotsyrenova EG, Kukes IV, Lunegov TD, Kashuro VA, Chuchina VA, Khavkin AI. Comparative assessment of breast milk components depending on the stage of lactation in women after premature and full-term labour. *Children's Medicine of the North-West*. 2025;13(2):151–166. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.56871/CmN-W.2025.14.48.014>

Received: 21.02.2025

Revised: 17.04.2025

Accepted: 18.06.2025

ABSTRACT. Introduction. The development of modern laboratory technologies makes it possible to determine the individual characteristics of the composition of breast milk (BM) and the nutritional needs of newborns. **The purpose of the study.** To study the features of the amino acid, fat and trace element profile of BM depending on the stage of lactation and the gestational age of the child. **Materials and methods.** For analysis, 21 breast milk samples were taken on days 3, 7, and 21 from women who gave birth on time (n=12) and prematurely (n=9). **Results.** Significant differences in the composition of breast milk in the profile of threonine, tryptophan, and taurine were demonstrated. When studying the composition of fatty acids, the results were characterized by a high content of essential polyunsaturated fatty acids in premature infants from early stages of lactation. Despite the lack of statistically significant differences in our study due to the small sample size, the findings are in line with the trends observed in numerous research studies and literature reviews, which have demonstrated correlations between milk composition and lactation stage, as well as gestational age at delivery. When examining the levels of micronutrients, including essential elements, we observed significant variability in the samples. The assessment of elements such as zinc and manganese revealed a pronounced deficiency in mature milk from women with full-term pregnancies. In two samples, we also found elevated levels of tin and lead. **Conclusion.** Given the small sample size and the experimental nature of the study, further research is required.

KEYWORDS: *breast milk, newborns, premature babies, breast milk amino acids, breastmilk fatty acids, breastmilk microelements*

ВВЕДЕНИЕ

Грудное вскармливание является самым важным постнатальным фактором долгосрочного метаболического и иммунологического программирования здоровья человека. Грудное молоко (ГМ) представляет собой комплекс биологически активных веществ, служащих не только источником питания для ребенка, но и обеспечивающих работу иммунной, пищеварительной и нервной систем организма. В настоящее время появление и внедрение в практику современных углубленных методик исследования макро- и микрокомпонентов грудного молока позволяет определить индивидуальные особенности состава ГМ и нутритивные потребности детей с первых дней жизни с учетом гестационного возраста [1–4].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования – изучить особенности аминокислотного и жирового профиля грудного молока, определить содержание микроэлементов в зависимости от стадии лактации и гестационного возраста ребенка.

Задачи исследования

1. Определить содержание аминокислотного состава грудного молока в исследуемых пробах.
2. Определить содержание жирных кислот в исследуемых пробах грудного молока.
3. Определить содержание микроэлементов в исследуемых пробах грудного молока.
4. Провести сравнительную оценку состава грудного молока в зависимости от стадии лактации и гестации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа была взята 21 проба грудного молока:

- 1) 12 проб грудного молока у женщин, родивших доношенных детей (всего 4 кормящие женщины, с пробами молока на 3-, 7- и 21-е сутки жизни);
- 2) 9 проб грудного молока у женщин, родивших преждевременно (всего 3 кормящие женщины, родившие на сроке гестации 30–32 недели, на 3-, 7- и 21-е сутки жизни).

Забор проб молока проводился на базе Перинатального центра Санкт-Петербургского го-

сударственного педиатрического медицинского университета (обязательным условием было информированное согласие матери).

Для хранения емкость со сцеженным молоком замораживалась в морозильной камере при температуре -18°C [1, 5].

Перед исследованием в лаборатории молоко подвергалось постепенному размораживанию до комнатной температуры. Исследование проб ГМ на жирные кислоты (ЖК), аминокислоты (АК) проводилось в ООО «Хромолаб» с использованием методики хроматографии.

Использованы единицы измерения: для АК – ммоль/л; для ЖК – ммоль/л, нмоль/мл; для микроэлементов – мг/л и мкг/л.

Масс-спектрометрию на эссенциальные микроэлементы проводил ООО «Люмэкс» (4 образца зрелого молока женщин с доношенной беременностью). Исследование проведено в рамках экспериментальной методики анализа грудного молока «Времяпролетная масс-спектрометрия с импульсным тлеющим разрядом на масс-спектрометре Люмас ИТР-301», сертифицированного 24.04.2023 г.

Описание методов статистического анализа

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.2.8 (разработчик – ООО «Статтех»). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 – Q_3). Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна–Уитни. При сравнении трех и более зависимых совокупностей, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера–Имана с поправкой Холма. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Следует отметить, что статистически достоверных различий в нашем исследовании не получено, вероятно, вследствие малой выборки. Однако полученные результаты соответствуют трендам многочисленных исследовательских работ и литературных обзоров, продемонстрировавших корреляционные изменения в составе молока в зависимости от стадии лактации и гестационного возраста к сроку родов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. Аминокислотный профиль грудного молока

При анализе динамики уровня триптофана содержание аминокислоты в молозиве для доношенных детей в пропорции к молозиву для недоношенных 4:1, с последующим снижением к 21-му дню лактации в 4 раза и выравниванием показателя

с молоком для недоношенных детей в пропорции 1:1 (табл. 1).

При определении уровня содержания треонина получены результаты: в молозиве для доношенных детей содержание этой АК было в 2 раза выше, чем в молозиве для недоношенных, однако к 21-му дню жизни отмечено снижение уровня в молоке для доношенных детей более чем в 2 раза. При этом в указанные сроки содержание треонина в молоке для недоношенных превысило показатели для доношенных

Таблица 1. Анализ динамики уровня триптофана в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 1. Analysis of threonine level dynamics depending on lactation stage and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	триптофан в молозиве / tryptophan in molosive		триптофан на 7-е сутки жизни / tryptophan on the 7 th day of life		триптофан на 21-е сутки жизни / tryptophan on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	8,650	8,525–8,775	8,450	8,425–8,475	10,550	9,725–11,375	0,368
Доношенные / Full-term	31,900	31,900–31,900	20,800	20,800–20,800	8,400	8,400–8,400	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

Таблица 2. Анализ динамики уровня треонина в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 2. Analysis of threonine level dynamics depending on lactation stage and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	треонин в молозиве / threonine in molosive		треонин на 7-е сутки жизни / threonine on the 7 th day of life		треонин на 21-е сутки жизни / threonine on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	43,950	37,525–50,375	103,050	101,875–104,225	118,250	118,175–118,325	0,135
Доношенные / Full-term	93,500	93,500–93,500	99,200	99,200–99,200	40,300	40,300–40,300	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

Таблица 3. Анализ динамики уровня таурина в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 3. Analysis of taurine level dynamics depending on lactation stage and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	таурин в молозиве / taurine in molosive		таурин на 7-е сутки жизни / taurine on the 7 th day of life		таурин на 21-е сутки жизни / taurine on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	348,300	290,800– 405,800	231,200	211,800– 250,600	150,450	139,225– 161,675	0,223
Доношенные / Full-term	77,200	77,200– 77,200	281,100	281,100– 281,100	237,800	237,800– 237,800	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

Таблица 4. Анализ динамики уровня аргинина в зависимости от стадии лактации и срока гестации**Table 4.** Analysis of arginine level dynamics depending on lactation stage and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	аргинин в молозиве / arginine in molosive		аргинин на 7-е сутки жизни / arginine on the 7 th day of life		аргинин на 21-е сутки жизни / arginine on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	26,650	23,275– 30,025	37,250	37,025– 37,475	41,650	41,375– 41,925	0,135
Доношенные / Full-term	21,000	21,000– 21,000	33,200	33,200– 33,200	36,900	36,900– 36,900	0,368
p	1.000		0.221		0.221		–

Таблица 5. Анализ динамики уровня глутамина в зависимости от стадии лактации и срока гестации**Table 5.** Analysis of glutamine levels dynamics depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	глутамин в молозиве / glutamine in molosive		глутамин на 7-е сутки жизни / glutamineo n the 7 th day of life		глутамин на 21-е сутки жизни / glutamine on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	197,650	197,275– 198,025	212,550	208,275– 216,825	342,600	324,550– 360,650	0,135
Доношенные / Full-term	210,900	210,900– 210,900	198,900	198,900– 198,900	202,600	202,600– 202,600	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

в 3 раза и увеличилось в молоке для недоношенных по сравнению с молозивом также в 3 раза (табл. 2).

В нашем исследовании (табл. 3) содержание таурина в молозиве для недоношенных детей было выше почти в 5 раз по сравнению с пробой молока для доношенных детей (348,300 против 77,200 мкмоль/л). По мере изменения стадий лактации уровни кардинально менялись, и к 21-му дню содержание таурина в молоке для доношенных превысило снижающийся уровень в группе недоношенных (237,800 против 150,450 мкмоль/л).

При анализе данных содержания аргинина в молоке исследуемых групп не получено значимой разницы уровней этой АК. Результаты содержания глутамина продемонстрировали нарастание содержания АК в молоке для недоношенных детей к 21-му дню жизни (342,600 против 202,600 мкмоль/л) (табл. 4, 5).

II. Жировой профиль грудного молока

В исследуемых пробах молока был проведен анализ динамики общего содержания жирных кислот в зависимости от срока лактации у доношенных

и недоношенных детей. Суммарное содержание ЖК в молозиве и на 7-е сутки жизни для недоношенных было значительно выше, чем для доношенных (табл. 6). Однако статистически значимых изменений выявить не удалось.

При анализе содержания общего количества полиненасыщенных жирных кислот отмечена такая же тенденция: в молоке для недоношенных детей уровень ПНЖК на 3-и и 7-е сутки был выше в 2 раза, чем для доношенных детей, а к 21-му дню жизни – одинаковый (табл. 7).

Динамика омега-6 и омега-3 ЖК в различных пробах молока также коррелировала со сроком гестации, и при анализе сохранялся аналогичный тренд. Выявлено, что в грудном молоке женщин, родивших преждевременно, содержание омега-3 и омега-6 ЖК на 3-и и 7-е сутки жизни было в 2 раза выше, чем в молоке у родивших в срок.

К 21-му дню жизни уровень омега-6 ЖК в пробах грудного молока от матерей с доношенным и недоношенным сроком родов был одинаковым, при этом нарастание количества исследуемых жирных кислот в молоке для доношенных детей увеличилось вдвое. В то же время содержание омега-3 ЖК в зрелом

Таблица 6. Анализ динамики суммарного содержания жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 6. Analysis of the dynamics of the total fatty acids content depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	суммарные жирные кислоты в молозиве / total fatty acids in colostrum		суммарные жирные кислоты на 7-е сутки жизни / total fatty acids on the 7 th day of life		суммарные жирные кислоты на 21-е сутки жизни / total fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	27,220	18,225–36,215	32,335	32,163–32,508	30,185	29,652–30,718	0,607
Доношенные / Full-term	14,850	14,850–14,850	10,350	10,350–10,350	20,800	20,800–20,800	0,368
p	1,000		0,221		0,221		–

Таблица 7. Анализ динамики полиненасыщенных жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 7. Analysis of the dynamics of polyunsaturated fats depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	полиненасыщенные жирные кислоты в молозиве / polyunsaturated fats in colostrum		полиненасыщенные жирные кислоты на 7-е сутки жизни / polyunsaturated fats on the 7 th day of life		полиненасыщенные жирные кислоты на 21-е сутки жизни / polyunsaturated fats on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	7,565	4,982-10,148	8,995	8,887-9,103	7,565	7,048-8,082	0,607
Доношенные / Full-term	3,580	3,580-3,580	2,620	2,620-2,620	6,240	6,240-6,240	0,368
p	1,000		0,221		0,221		-

Таблица 8. Анализ динамики омега-6 жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 8. Analysis of the dynamics of omega-6 fatty acids depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	ω-6 жирные кислоты в молозиве / ω-6 fatty acids in colostrum		ω-6 жирные кислоты на 7-е сутки / ω-6 fatty acids on the 7 th day of life		ω-6 жирные кислоты на 21-е сутки / ω-6 fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	6,455	4,067–8,843	7,790	7,610–7,970	5,990	5,830–6,150	0,607
Доношенные / Full-term	3,110	3,110–3,110	2,220	2,220–2,220	5,760	5,760–5,760	0,368
p	1,000		0,221		1,000		–

молоке доношенных было стабильным и оставалось значительно ниже уровня, чем в молоке для недоношенных детей (табл. 8, 9).

По результатам нашего исследования в образцах зрелого молока для доношенных детей процентное содержание общего количества омега-6

ЖК было в 10 раз выше содержания омега-3 ЖК. В образцах для недоношенных – только в 5 раз за счет повышенного содержания омега-3 ЖК, необходимого для недоношенного ребенка (табл. 10).

При анализе содержания омега-6 ЖК в процентах от общего содержания ЖК значительных отличий

Таблица 9. Анализ динамики омега-3 жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации**Table 9.** Analysis of the dynamics of omega-3 fatty acids depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	ω-3 жирные кислоты в молозиве / ω-3 fatty acids in colostrum		ω-3 жирные кислоты на 7-е сутки / ω-3 fatty acids on the 7 th day of life		ω-3 жирные кислоты на 21-е сутки / ω-3 fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	1,115	0,917–1,312	1,205	1,133–1,278	1,570	1,210–1,930	1,000
Доношенные / Full-term	0,470	0,470–0,470	0,390	0,390–0,390	0,490	0,490–0,490	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

Таблица 10. Анализ динамики омега-6/омега-3 жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации**Table 10.** Analysis of the dynamics of omega-6/omega-3 fatty acids depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	ω-6/ω-3 жирные кислоты в молозиве / ω-6/ω-3 fatty acids in colostrum		ω-6/ω-3 жирные кислоты на 7-е сутки жизни / ω-6/ω-3 fatty acids on the 7 th day of life		ω-6/ω-3 жирные кислоты на 21-е сутки жизни / ω-6/ω-3 fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	4,900	3,625–6,175	6,600	6,060–7,140	4,710	3,735–5,685	0,223
Доношенные / Full-term	6,610	6,610–6,610	5,690	5,690–5,690	11,830	11,830–11,830	0,368
p	1,000		1,000		0,221		–

Таблица 11. Анализ динамики омега-6 жирных кислот в процентах от суммы жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации**Table 11.** Analysis of the dynamics of omega-6 fatty acids in percent of the total fatty acids, depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	ω-6 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот в молозиве / ω-6 fatty acids in percent of the total fatty acids in colostrum		ω-6 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот на 7-е сутки жизни / ω-6 fatty acids in percent of the total fatty acids on the 7 th day of life		ω-6 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот на 21-е сутки жизни / ω-6 fatty acids in percent of the total fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	Me	Q ₁ -Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	21,545	19,902- 23,188	24,085	23,662- 24,508	19,850	19,670- 20,030	0,223
Доношенные / Full-term	20,910	20,910- 20,910	21,490	21,490- 21,490	27,680	27,680- 27,680	0,368
p	1,000		0,221		0,221		-

в различных порциях молока не получено. Однако при оценке процентного содержания омега-3 ЖК в группе недоношенных детей получено превышение в 2-2,5 раза по сравнению с группой доношенных детей (табл. 11, 12).

Результаты исследования показали, что по мере созревания молока содержание линолевой ЖК увеличивалось у доношенных и в зрелом молоке стало сопоставимым с уровнем в молоке для недоношенных. Содержание альфа-линоленовой кислоты в молоке

Таблица 12. Анализ динамики омега-3 жирных кислот в процентах от суммы жирных кислот в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 12. Analysis of the dynamics of omega-3 fatty acids in percent of the total fatty acids, depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	ω-3 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот в молозиве / ω-3 fatty acids in percent of the total fatty acids in colostrum		ω-3 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот на 7-е сутки жизни / ω-3 fatty acids in percent of the total fatty acids on the 7 th day of life		ω-3 жирные кислоты в процентах от суммы жирных кислот на 21-е сутки жизни / ω-3 fatty acids in percent of the total fatty acids on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	5,540	4,435–6,645	3,725	3,482– 3,968	5,120	4,020– 6,220	0,223
Доношенные / Full-term	3,170	3,170–3,170	3,780	3,780– 3,780	2,340	2,340– 2,340	0,368
p	0,221		1,000		0,221		–

Таблица 13. Анализ динамики линолевой жирной кислоты в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 13. Analysis of the dynamics of linoleic fatty acid depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	линолевая жирная кислота в молозиве / linoleic fatty acid in colostrum		линолевая жирная кислота на 7-е сутки жизни / linoleic fatty acid on the 7 th day of life		линолевая жирная кислота на 21-е сутки жизни / linoleic fatty acid on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	5689,000	3487,500–7890,500	6811,500	6573,750–7049,250	5272,500	5176,250–5368,750	0,607
Доношенные / Full-term	2503,000	2503,000–2503,000	1814,000	1814,000–1814,000	5001,000	5001,000–5001,000	0,368
p	1,000		0,221		0,221		–

Таблица 14. Анализ динамики альфа-линоленовой жирной кислоты в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 14. Analysis of the dynamics of alpha-linolenic fatty acid depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	α-линоленовая жирная кислота в молозиве / α-linolenic fatty acid in colostrum		α-линоленовая жирная кислота на 7-е сутки жизни / α-linolenic fatty acid on the 7 th day of life		α-линоленовая жирная кислота на 21-е сутки жизни / α-linolenic fatty acid on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	333,835	242,093–425,577	398,460	389,490–407,430	528,415	462,752–594,077	1,000
Доношенные / Full-term	229,070	229,070–229,070	155,130	155,130–155,130	211,200	211,200–211,200	0,368
p	1,000		0,221		0,221		–

Таблица 15. Анализ динамики докозагексаеновой жирной кислоты в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 15. Analysis of the dynamics of docosahexaenoic fatty acid depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	докозагексаеновая жирная кислота в молозиве / docosahexaenoic fatty acid in colostrum		докозагексаеновая жирная кислота на 7-е сутки жизни /docosahexaenoic fatty acid on the 7 th day of life		докозагексаеновая жирная кислота на 21-е сутки жизни /docosahexaenoic fatty acid on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	445,905	378,322–513,488	506,635	442,588–570,683	530,910	375,345–686,475	1,000
Доношенные / Full-term	175,080	175,080–175,080	170,140	170,140–170,140	196,880	196,880–196,880	0,368
p	0,221		0,221		0,221		–

Таблица 16. Анализ динамики арахидоновой жирной кислоты в зависимости от стадии лактации и срока гестации

Table 16. Analysis of the dynamics of arachidonic fatty acid depending on the stage of lactation and gestation period

Статус / Status	Стадии лактации / Stages of lactation						p
	арахидоновая жирная кислота в молозиве / arachidonic fatty acid in colostrum		арахидоновая жирная кислота на 7-е сутки жизни / arachidonic fatty acid on the 7 th day of life		арахидоновая жирная кислота на 21-е сутки жизни / arachidonic fatty acid on the 21 th day of life		
	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	Me	Q ₁ –Q ₃	
Недоношенные / Premature babies	398,320	301,200–495,440	531,640	513,100–550,180	392,780	356,750–428,810	0,607
Доношенные / Full-term	319,560	319,560–319,560	213,450	213,450–213,450	340,490	340,490–340,490	0,368
p	1,000		0,221		1,000		–

для доношенных детей имело тенденцию к снижению к 21-му дню жизни, в отличие от группы для недоношенных детей, у которых уровень альфа-линоленовой кислоты повышался по мере созревания молока, и отличался от уровня данной ЖК в молоке при доношенных родах к 21-му дню жизни более чем в 2 раза (табл. 13, 14).

При анализе содержания докозагексаеновой (ДГК) ЖК отмечался высокий уровень во всех порциях грудного молока с нарастанием к 21-му дню жизни в молоке для недоношенных детей. Уровень ДГК в молоке для доношенных был ниже, но также определялась тенденция к увеличению в зрелом молоке. Содержание арахидоновой (АРК) ЖК оставалось относительно стабильным вне зависимости от стадии лактации в группах доношенных и недоношенных детей. Показатели уровня АРК превалировали в молоке женщин с преждевременными родами (табл. 15, 16).

III. Микроэлементы грудного молока

При изучении содержания микроэлементов, включая эссенциальные, отмечена широкая вари-

бельность значений в пробах ГМ. Результаты оценки уровня таких элементов, как цинк, марганец, свидетельствовали о выраженном дефиците этих элементов в зрелом молоке женщин с доношенным сроком беременности (табл. 17). Также в двух пробах мы получили уровень содержания таких токсичных металлов, как олово и свинец, превышающий медианные значения, опубликованные в ряде научных работ.

Учитывая малую выборку проб и использование экспериментальной методики изучения проблемы требует дополнительных исследований.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

I. Аминокислотный профиль грудного молока

Результаты исследования аминокислотного профиля показали различия содержания функциональных АК в зависимости от срока лактации в молоке для доношенных и недоношенных детей. В пробах

Таблица 17. Концентрации ряда элементов при анализе четырех образцов зрелого грудного молока с использованием масс-спектрометра «Люмас ИТР-301»

Table 17. Concentrations of a number of elements in the analysis of four samples of mature breast milk using a Lumas ITR-301 massspectrometer

Элемент / Element	Проба 1 / Sample 1	Проба 2 / Sample 2	Проба 3 / Sample 3	Проба 4 / Sample 4
Mg, мг/л, mg/l	12.5±0.7	9.0±0.7	3.4±0.3	18±2
Cu, мг/л, mg/l	4.5±0.5	0.098±0.007	2.7±0.3	0.69±0.05
Zn, мг/л, mcg/l	1.3±0.2	0.88±0.07	0.53±0.05	1.1±0.1
Mo, мкг/л, mcg/l	32.3	3.0	< 5	<5
Cr, мкг/л, mcg/l	29±3	30±4	17±3	24±4
Mn, мкг/л, mcg/l	76±6	62±7	728±70	142±15
Se, мкг/л, mcg/l	< 5	< 5	< 5	27±5
Co, мкг/л, mcg/l	8.3±3	3±2	5±1	47±4
Sn, мг/л, mg/l	44±10	27±4	5.4±0.7	4.5±0.5
Pb, мг/л, mg/l	33±3	15±2	7.3±0.9	1.3±0.2
B, мкг/л, mcg/l	437±40	616±72	1125±80	97±10
P, мг/л, mg/l	7.3±0.8	8.4±0.7	0.60±0.05	16.2±0.8

ГМ особое внимание при анализе и статистической обработке уделено результатам подсчета АК, которые, помимо участия в биосинтезе белка, регулируют ключевые метаболические процессы. К ним относятся аргинин, таурин, треонин, триптофан, глутамин. При анализе динамики уровня триптофана выявлено превышение содержания аминокислоты в молозиве для доношенных детей в пропорции к молозиву для недоношенных 4:1, с последующим снижением к 21-му дню лактации в 4 раза и выравниванием показателя с молоком для недоношенных детей в пропорции 1:1. Триптофан – незаменимая АК, принимающая участие в модулировании неврологических и иммунологических функций. Метаболитами триптофана являются нейроактивные вещества, такие как кинуренин, серотонин, триптамин, индольные соединения, принимающие участие в обеспечении функционирования оси кишечник – головной мозг [6–8]. Триптофан является одной из ключевых АК в составе альфа-лактоальбумина, необходимого для синхронизации цикла «сон–бодрствование». Доказано, что введение младенцу триптофана в рацион питания улучшает формирование цикличности сна. Известно, что формирование паттернов стадий сна начинается после 30-й недели гестации, а окончательная дифференцировка возможна после 36–37 недель гестации [9–11]. Низкий уровень триптофана в исследуемых пробах молока у матерей недоношенных детей может быть объяснен функциональной рудиментарностью физиологических стадий цикла «сон–бодрствование». Полученные результаты мо-

гут свидетельствовать об отсутствии потребности в высоких дозах триптофана у недоношенных детей в раннем неонатальном периоде.

При определении уровня содержания треонина получены интересные данные: так, в молозиве для доношенных детей содержание этой АК было в 2 раза выше, чем в молозиве для недоношенных детей, однако к 21-му дню жизни отмечено снижение уровня в молоке для доношенных более чем в 2 раза. При этом в указанные сроки содержание треонина в молоке для недоношенных превысило показатели для доношенных в 3 раза и увеличилось в молоке для недоношенных детей по сравнению с молозивом также в 3 раза.

Незаменимая аминокислота треонин особенно важна для синтеза муцина и сохранения барьерной функции кишечника у новорожденных. Высокая потребность в треонине обусловлена активным синтезом богатых треонином муцинов, продуцируемых интестинальными бокаловидными клетками. Муциновый слой, покрывая эпителий кишечника, защищает его от патогенных молекул и токсических соединений в просвете кишечника. Разрушение муцинового слоя снижает барьерную функцию и может облегчать транслокацию бактерий, способствуя развитию энтероколита, сепсиса и дисфункции кишечника [12, 13]. Возможно, нарастание уровня треонина в молоке для недоношенных детей, состоящих в группе риска развития некротического энтероколита, продиктовано потребностью в формировании защитной функции желудочно-кишечного тракта. В нашем исследовании содержание таурина в моло-

живе недоношенных детей было выше почти в 5 раз по сравнению с группой доношенных детей (348,300 против 77,200 мкмоль/л). По мере изменения стадий лактации уровни кардинально менялись, и к 21-му дню содержание таурина в молоке для доношенных превысило снижающийся уровень в группе для недоношенных (237,800 против 150,450 мкмоль/л). Таурин играет важную роль в усвоении липидов у детей, обеспечивая должный уровень ЖК в организме младенца, в том числе в структурах головного мозга, сетчатки глаза, печени и почках. Доказано, что таурин участвует в регуляции осмолярного и электролитного баланса, гиперосмолярного, особенно у недоношенных детей. Недостаточность таурина как у доношенных, так и у недоношенных приводит к нарушению всасывания жиров, снижению содержания сложных липидов в центральной нервной системе, грануляционных процессов сетчатки глаза, дисфункции электролитного и осмолярного баланса [12, 14]. Вероятно, повышенный уровень таурина в первые дни жизни обусловлен особой потребностью недоношенных детей для созревания головного мозга, сетчатки глаза, функций печени и почек, а также преодоления осмолярного и гипонатриемического стресса.

При анализе данных содержания аргинина в молоке исследуемых групп не получено значимой разницы уровней этой АК. Аргинин является одной из важнейших аминокислот для клеток кишечника, оптимизируя структуру и функцию эпителиальных клеток кишечника, повышая клеточную миграцию и синтез полиаминов. Учитывая, что во взаимодействии с глутамином аргинин играет важную роль в сигнальных механизмах, регулируя экспрессию гена, внутриклеточный оборот белков, метаболизм нутриентов, антиоксидантный статус и иммунную функцию, особого интереса заслужило изучение уровня глутамин в пробах молока. Результаты продемонстрировали нарастание содержания глутамин в молоке для недоношенных детей к 21-му дню жизни (342,600 против 202,600 мкмоль/л). Можно предположить, что повышение уровня глутамин позволяет улучшить функциональную активность аргинина в системе связи «аргинин–глутамин» для обеспечения возрастающих потребностей недоношенного ребенка [12]. Следует отметить, что провести сравнительные данные с иностранными исследованиями не представляется возможным, поскольку в многочисленных публикациях используются различные единицы измерения с поправкой на многократный гидролиз и вариабельность истинной усвояемости в подвздошной кишке [15].

II. Жировой профиль грудного молока

В исследуемых пробах молока был проведен анализ динамики общего содержания жирных кислот в зависимости от срока лактации молока для доношенных и недоношенных детей. Суммарное содержание ЖК в молозиве и на 7-е сутки жизни для недоношенных было значительно выше, чем для доношенных. Однако статистически значимых изменений выявить не удалось. При анализе содержания общего количества полиненасыщенных жирных кислот отмечена такая же тенденция: в молоке для недоношенных детей уровень ПНЖК на 3-и и 7-е сутки был выше в 2 раза, чем в молоке для доношенных детей, а к 21-му дню жизни – одинаковый. Полиненасыщенные жирные кислоты являются важными структурными компонентами клеточных мембран и демонстрируют заметное перинатальное накопление в богатых мембранами тканях, таких как головной мозг и сетчатка [16]. Полученные данные коррелируют с зарубежными исследованиями, сравнивающими состав молока от матерей с доношенными и преждевременными родами, в которых сообщалось о более высоком содержании ПНЖК в молозиве матерей для недоношенных младенцев, в отличие от матерей доношенных младенцев [17].

Динамика омега-6 и омега-3 ЖК в различных пробах молока также коррелировала со сроком гестации, и при анализе сохранялся аналогичный тренд. Выявлено, что в грудном молоке женщин, родивших преждевременно, содержание омега-3 и омега-6 ЖК на 3-и и 7-е сутки жизни было в 2 раза выше, чем в молоке у родивших в срок.

К 21-му дню жизни уровень омега-6 ЖК в пробах грудного молока от матерей с доношенным и недоношенным сроком родов был одинаковым, при этом нарастание количества исследуемых жирных кислот в молоке для доношенных детей увеличилось вдвое. В то же время содержание омега-3 ЖК в зрелом молоке для доношенных было стабильным и оставалось значительно ниже уровня, чем в молоке для недоношенных детей. Известно, что метаболитами омега-3 ЖК являются резолвины и протектины, обладающие противовоспалительными, антиапоптотическими, антиоксидантными свойствами, чрезвычайно важными для формирования иммунной системы и незрелой нервной системы недоношенных детей [18, 19]. Важным условием эффективного метаболизма ПНЖК является благоприятное соотношение омега-6 к омега-3 кислотам. Такое соотношение и наблюдается в грудном молоке

(от 10:1 до 7:1), что, в свою очередь, препятствует взаимному ингибированию метаболических процессов, в которые вовлечены данные незаменимые нутриенты [20].

По результатам нашего исследования в образцах зрелого молока для доношенных детей процентное содержание общего количества омега-6 ЖК было в 10 раз выше содержания омега-3 ЖК. В образцах молока для недоношенных детей — только в 5 раз за счет повышенного содержания омега-3 ЖК, необходимого для недоношенного ребенка.

При анализе содержания омега-6 ЖК в процентах от общего содержания ЖК значительных отличий в различных порциях молока не получено. Однако при оценке процентного содержания омега-3 ЖК в молоке для недоношенных детей получено превышение в 2–2,5 раза по сравнению с молоком для доношенных детей. В многочисленных исследованиях, посвященных анализу жирнокислотного состава молока женщин после срочных родов, медианные значения и диапазоны довольно схожи. Данные о процентном содержании общего количества омега-6 и омега-3 ПНЖК в молозиве (1–5 дней лактации), переходном (6–15 дней лактации) и зрелом молоке (16–35 дней лактации) имеют аналогичный профиль [21, 22].

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что по мере созревания молока содержание линолевой ЖК увеличивалось в молоке для доношенных и в зрелом молоке стало сопоставимым с уровнем в молоке для недоношенных. Содержание альфа-линоленовой кислоты в молоке для доношенных детей имело тенденцию к снижению к 21-му дню жизни, в отличие от группы для недоношенных детей, у которых уровень альфа-линоленовой кислоты повышался по мере созревания молока, и отличался от уровня данной ЖК в молоке при доношенных родах к 21-му дню жизни более чем в 2 раза.

Основными ПНЖК грудного молока являются незаменимые жирные кислоты: линолевая ЖК и альфа-линоленовая ЖК. ПНЖК класса омега-3 играют особую роль в созревании и функционировании центральной нервной системы (ЦНС) у младенцев в первые месяцы жизни, стимулируя нейрогенез, синаптогенез, миграцию нейронов, участвуя в процессе миелинизации нервных волокон. Эти ПНЖК необходимы для формирования головного мозга и нейросетчатки глаза, они обеспечивают нормальное развитие сенсорных, моторных, поведенческих функций за счет концентрации в синаптических мембранах и модуляции нейротрансмиссии [18, 21].

В работе Н. Minda и соавт. (2004) продемонстрированы отличающиеся результаты: уровень линолевой ЖК существенно не менялся в течение первого месяца жизни, а содержание альфа-линоленовой кислоты показало значительное увеличение в первые две недели лактации [22].

При анализе содержания докозагексаеновой ЖК отмечался повышенный уровень во всех порциях грудного молока с нарастанием к 21-му дню жизни в молоке для недоношенных детей. Уровень ДГК в молоке для доношенных детей был ниже, но также была определена тенденция к увеличению в зрелом молоке. Содержание арахидоновой ЖК оставалось относительно стабильным вне зависимости от стадии лактации в порциях молока для доношенных и недоношенных. При этом показатели уровня АРК преобладали в молоке женщин с преждевременными родами. Метаболизм линолевой и альфа-линоленовой ЖК до длинноцепочечных ПНЖК включает последовательные стадии десатурации и удлинения цепей. Среди биологически важных метаболитов ПНЖК, образующихся этими путями, наиболее значимыми являются докозагексаеновая и арахидоновая жирные кислоты. ДГК необходима для развития нервной системы ребенка. АРК служит предшественником лейкотриенов, простагландинов и тромбоксанов, известных в совокупности как эйкозаноиды, которые важны для иммунитета и ответной реакции [23, 24]. Следует отметить, что в работах наших европейских коллег продемонстрированы отличающиеся данные, в которых показано, что в течение первого месяца лактации происходит снижение содержания длинноцепочечных ПНЖК в молоке матерей как для доношенных, так и для недоношенных детей [25]. Вероятно, для достоверных сведений требуются дополнительные и более обширные исследования.

III. Микроэлементы грудного молока

При изучении содержания микроэлементов, включая эссенциальные, отмечена широкая вариабельность значений в пробах ГМ. Результаты оценки уровня таких элементов, как цинк, марганец свидетельствовали о выраженном дефиците этих элементов в исследуемых пробах зрелого молока женщин с доношенным сроком беременности. Также в двух пробах мы получили уровень содержания таких токсичных металлов, как олово и свинец, превышающий медианные значения, опубликованные в ряде научных работ. При обзоре литературы подчеркнуты многообразные факторы,

влияющие на микроэлементный состав ГМ: нутритивный статус матери, географические особенности проживания, социальноэкономические условия [26–30]. В то же время в крупнейшем регламентированном ВОЗ исследовании был сделан важный вывод о том, что механизмы гомеостаза в паре «мать–ребенок» обеспечивают относительную стабильность микроэлементного состава грудного молока [31]. Учитывая малую выборку проб и использование экспериментальной методики, изучение проблемы требует дополнительных исследований.

ВЫВОДЫ

Продemonстрированы различия и вариабельность состава грудного молока женщин в зависимости от срока родоразрешения и стадии лактации, обусловленные особыми потребностями младенцев в различных нутриентах, включая функциональные АК, сложные липиды, микроэлементы. Индивидуальные особенности в паре «мать–ребенок» обеспечивают разнообразие состава молока, а механизмы гомеостаза демонстрируют относительную стабильность макро- и микроэлементного состава грудного молока. Следует отметить, что статистически достоверных различий в нашем исследовании не получено, вероятно, вследствие малой выборки. Однако результаты соответствуют трендам многочисленных исследовательских работ и литературных обзоров, продемонстрировавших корреляционные изменения в составе молока в зависимости от стадии лактации и гестационного возраста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа оптимизации вскармливания детей первого года жизни в Российской Федерации: методические рекомендации. ФГАУ «НМИЦ здоровья детей» Минздрава России (проект). 2024.
2. Martin C.R., Ling P.R., Blackburn G.L. Review of Infant Feeding: Key Features of Breast Milk and Infant Formula. *Nutrients*. 2016;8(5):279. DOI: 10.3390/nu8050279.
3. Mosca F., Gianni M.L. Human milk: composition and health benefits. *Pediatr Med Chir*. 2017;39(2):155. DOI: 10.4081/ pmc.2017.155.
4. Van Esch B.C.A.M., Porbahaie M., Abbring S., Garssen J., Potaczek D.P., Savelkoul H.F.J., van Neerven R.J.J. The Impact of Milk and Its Components on Epigenetic Programming of Immune Function in Early Life and Beyond: Implications for Allergy and Asthma. *Front Immunol*. 2020;11:2141. DOI: 10.3389/fimmu.2020.02141.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

5. Лукьянова О.Л. Научное обоснование и разработка новых технологий организации и поддержки грудного вскармливания. Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М.; 2016.
6. Беляева И.А., Бомбардинова Е.П., Турти Т.В., Приходько Е.А. Моделирование протективных факторов грудного молока: нутритивное программирование здоровья ребенка. Вопросы современной педиатрии. 2021;20(6):492–498. DOI: 10.15690/vsp.v20i6.2355.
7. Wacławiková B., El Aidy S. Role of Microbiota and Tryptophan Metabolites in the Remote Effect of Intestinal Inflammation on Brain and Depression. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2018;11(3):63. DOI: 10.3390/ph11030063.
8. Gao K., Mu C.L., Farzi A., Zhu W.Y. Tryptophan Metabolism: A Link Between the Gut Microbiota and Brain. *Adv Nutr*. 2020;11(3):709–723. DOI: 10.1093/advances/nmz127.

9. Пальчик А.Б., Понятишин А.Е., Федорова Л.А. Неврология недоношенных детей. М.: МЕДпресс-информ; 2021:408.
10. Cubero J., Valero V., Sánchez J., Rivero M., Parvez H., Rodríguez A. B., Barriga C. The circadian rhythm of tryptophan in breast milk affects the rhythms of 6-sulfatoxymelatonin and sleep in newborn. *Neuro Endocrinol Lett.* 2005;26(6):657–61.
11. Jiang F. Sleep and Early Brain Development. *Ann Nutr Metab.* 2019;75(Suppl 1):44–54. DOI: 10.1159/000508055.
12. Шейбак Л.Н. Особенности обеспечения и потребность в аминокислотах в периоде новорожденности. *Вестник ВГМУ.* 2015;2.
13. Wu G. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Adv Nutr.* 2010;1(1):31–7. DOI: 10.3945/an.110.1008.
14. Chesney R.W., Helms R.A., Christensen M., Budreau A. M., Han X., Sturman J. A. The role of taurine in infant nutrition. *Adv Exp Med Biol.* 1998;442:463–76. DOI: 10.1007/978-1-4899-0117-0_56.
15. Moughan P.J., Deglaire A., Yan Y., Wescombe P., Lim W.X.J., Stroebinger N., Duan S., Szeto I.M., Hodgkinson S. Amino acid requirements of the infant: the amino acid composition of human breast milk. *Front Nutr.* 2024;11:1446565. DOI: 10.3389/fnut.2024.1446565.
16. Martinez M. Tissue levels of polyunsaturated fatty acids during early human development. *J Pediatr.* 1992;120(4 Pt 2):129–38. DOI: 10.1016/s0022-3476(05)81247-8.
17. Bitman J., Wood L., Hamosh M., Hamosh P., Mehta N.R. Comparison of the lipid composition of breast milk from mothers of term and preterm infants. *Am J Clin Nutr.* 1983;38(2):300–12. DOI: 10.1093/ajcn/38.2.300.
18. Скрипченко Н.В., Федорова Л.А., Скрипченко Е.Ю., Макарова Е.Г., Клепикова Т.В., Украинцев С.Е. Питание и развитие мозга: вклад в будущее или упущенные возможности? *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского.* 2020;99(3):134–142. DOI: 10.24110/0031-403X-2020-99-3-134-142.
19. Громова О.А., Торшин И.Ю., Гришина Т.Р., Малявская С.И., Галустьян А.Н. Профилактика аллергических заболеваний у детей на грудном вскармливании: роль докозагексаеновой кислоты. *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского.* 2020;99(2):133–143.
20. Мачнева И.В., Афонина С.Н., Лебедева Е.Н., Карнаухова И.В. Липидом грудного молока с позиций концепции «Пищевого программирования». *Современные проблемы науки и образования.* 2022;2. DOI: 10.17513/spno.31534.
21. Koletzko B., Rodriguez-Palmero M., Demmelmair H., Fidler N., Jensen R., Sauerwald T. Physiological aspects of human milk lipids. *Early Hum Dev.* 2001;65(Suppl):3–18. DOI: 10.1016/s0378-3782(01)00204-3.
22. Minda H., Kovács A., Funke S., Szász M., Burus I., Molnár S., Marosvölgyi T., Decsi T. Changes of fatty acid composition of human milk during the first month of lactation: a day-to-day approach in the first week. *Ann Nutr Metab.* 2004;48(3):202–9. DOI: 10.1159/000079821.
23. Campoy C., Escolano-Margarit M. V., Anjos T., Szajewska H., Uauy R. Omega 3 fatty acids on child growth, visual acuity and neurodevelopment. *Br J Nutr.* 2012;107(Suppl 2):85–106. DOI: 10.1017/S0007114512001493.
24. Hadley K.B., Ryan A.S., Forsyth S., Gautier S., Salem N.Jr. The Essentiality of Arachidonic Acid in Infant Development. *Nutrients.* 2016;8(4):216. DOI: 10.3390/nu8040216.
25. Genzel-Boroviczeny O., Wahle J., Koletzko B. Fatty acid composition of human milk during the 1st month after term and preterm delivery. *Eur J Pediatr.* 1997;156(2):142–7. DOI: 10.1007/s004310050573.
26. Красовская М.А. Содержание цинка, меди, кадмия и свинца в молочных смесях и грудном молоке жителей г. Омска. *Вестник Уральского государственного медицинского университета.* 2019;1:49–51.
27. Станкевич С.С., Кондратьева Е.И., Барабаш Н.А., Протасова Н.В., Барановская Н.В. Микроэлементный состав грудного молока женщин, проживающих в промышленном городе. *Российский вестник перинатологии и педиатрии.* 2011;56(1):14–19.
28. Воронцов И.М., Фатеева Е.М. Естественное вскармливание детей. Его значение и поддержка. СПб.: Фолиант; 1998. EDN: VAJKDL.
29. Гречкина А.Е., Соломахина А.Ю. Избыточное увеличение массы тела в первом полугодии жизни у детей грудного возраста, находящихся на грудном вскармливании. *Children's Medicine of the North-West.* 2022;10(1):82–87.
30. Березкина Е.Н., Иванов Д.О., Новикова В.П. и др. Характер вскармливания новорожденных в перинатальном центре. *Трудности первых дней. Педиатр.* 2020;11(4):5–13. DOI: 10.17816/PED1145-13.
31. Parr R.M., DeMaeyer E.M., Iyengar V.G., Byrne A.R., Kirkbright G.F., Schöch G., Niinistö L., Pineda O., Vis H.L., Hofvander Y. et al. Minor and trace elements in human milk from Guatemala, Hungary, Nigeria, Philippines, Sweden, and Zaire. Results from a WHO/IAEA joint project. *Biol Trace Elem Res.* 1991;29(1):51–75. DOI: 10.1007/BF03032674.

REFERENCES

1. The program of optimization of feeding of children of the first year of life in the Russian Federation: methodological recommendations. FGau "NMITS zdorov'ya detei" Minzdrava Rossii (proekt). 2024. (In Russian).
2. Martin S.R., Ling P.R., Blackburn G.L. Review of Infant Feeding: Key Features of Breast Milk and Infant Formula. *Nutrients.* 2016;8(5):279. DOI: 10.3390/nu8050279.

3. Mosca F., Gianni M.L. Human milk: composition and health benefits. *Pediatr Med Chir.* 2017;39(2):155. DOI: 10.4081/ pmc.2017.155.
4. Van Esch B.C.A.M., Porbahaie M., Abbring S., Garssen J., Potaczek D.P., Savelkoul H.F.J., van Neerven R.J.J. The Impact of Milk and Its Components on Epigenetic Programming of Immune Function in Early Life and Beyond: Implications for Allergy and Asthma. *Front Immunol.* 2020;11:2141. DOI: 10.3389/fimmu.2020.02141.
5. Lukyanova O.L. Scientific substantiation and development of new technologies for the organization and support of breastfeeding. PhD thesis. Moscow; 2016. (In Russian).
6. Belyaeva I.A., Bombardirova E.P., Turti T.V., Prihod'ko E.A. Modeling of protective factors of breast milk: nutritional programming of child's health. *Voprosy sovremennoi pediatrii.* 2021;20(6):492–498. (In Russian). DOI: 10.15690/vsp.v20i6.2355.
7. Wacławiková B., El Aidy S. Role of Microbiota and Tryptophan Metabolites in the Remote Effect of Intestinal Inflammation on Brain and Depression. *Pharmaceuticals (Basel).* 2018;11(3):63. DOI: 10.3390/ph11030063.
8. Gao K., Mu C. L., Farzi A., Zhu W.Y. Tryptophan Metabolism: A Link Between the Gut Microbiota and Brain. *Adv Nutr.* 2020;11(3):709–723. DOI: 10.1093/advances/nmz127.
9. Pal'chik A.B., Ponyatishin A.E., Fedorova L.A. Neurology of premature babies. Moscow: MEDpress-inform; 2021:408. (In Russian).
10. Cubero J., Valero V., Sánchez J., Rivero M., Parvez H., Rodríguez A. B., Barriga C. The circadian rhythm of tryptophan in breast milk affects the rhythms of 6-sulfatoxymelatonin and sleep in newborn. *Neuro Endocrinol Lett.* 2005;26(6):657–61.
11. Jiang F. Sleep and Early Brain Development. *Ann Nutr Metab.* 2019;75(Suppl 1):44–54. DOI: 10.1159/000508055.
12. Sheibak L.N. Features of provision and the need for amino acids in the newborn period. *Vestnik VGMU.* 2015;2. (In Russian).
13. Wu G. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Adv Nutr.* 2010;1(1):31–7. DOI: 10.3945/an.110.1008.
14. Chesney R.W., Helms R.A., Christensen M., Budreau A. M., Han X., Sturman J. A. The role of taurine in infant nutrition. *Adv Exp Med Biol.* 1998;442:463–76. DOI: 10.1007/978-1-4899-0117-0_56.
15. Moughan P.J., Deglaire A., Yan Y., Wescombe P., Lim W.X.J., Stroebinger N., Duan S., Szeto I.M., Hodgkinson S. Amino acid requirements of the infant: the amino acid composition of human breast milk. *Front Nutr.* 2024;11:1446565. DOI: 10.3389/fnut.2024.1446565.
16. Martinez M. Tissue levels of polyunsaturated fatty acids during early human development. *J Pediatr.* 1992;120 (4 Pt 2):129–38. DOI: 10.1016/s0022-3476(05)81247-8.
17. Bitman J., Wood L., Hamosh M., Hamosh P., Mehta N.R. Comparison of the lipid composition of breast milk from mothers of term and preterm infants. *Am J Clin Nutr.* 1983;38(2):300–12. DOI: 10.1093/ajcn/38.2.300.
18. Skripchenko N.V., Fedorova L.A., Skripchenko E.Yu., Makarova E.G., Klepikova T.V., Ukraintsev S.E. Nutrition and brain development: contribution to the future or missed opportunities?. *Pediatriya im. G.N. Speranskogo.* 2020;99(3):134–142. (In Russian). DOI: 10.24110/0031-403X-2020-99-3-134-142.
19. Gromova O.A., Torshin I.Yu., Grishina T.R., Malyavskaya S.I., Galustyan A.N. Prevention of allergic diseases in breastfed children: the role of docosahexaenoic acid. *Pediatriya im. G.N. Speranskogo.* 2020;99(2):133–143. (In Russian).
20. Machneva I.V., Afonina S.N., Lebedeva E.N., Karnaukhova I.V. Breast milk lipid from the perspective of the concept of "Food programming". *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2022;2. (In Russian). DOI: 10.17513/spno.31534.19.
21. Koletzko B., Rodriguez-Palmero M., Demmelmair H., Fidler N., Jensen R., Sauerwald T. Physiological aspects of human milk lipids. *Early Hum Dev.* 2001;65(Suppl):3–18. DOI: 10.1016/s0378-3782(01)00204-3.
22. Minda H., Kovács A., Funke S., Szász M., Burus I., Molnár S., Marosvölgyi T., Decsi T. Changes of fatty acid composition of human milk during the first month of lactation: a day-to-day approach in the first week. *Ann Nutr Metab.* 2004;48(3):202–9. DOI: 10.1159/000079821.
23. Campoy C., Escolano-Margarit M. V., Anjos T., Szajewska H., Uauy R. Omega 3 fatty acids on child growth, visual acuity and neurodevelopment. *Br J Nutr.* 2012;107(Suppl 2):85–106. DOI: 10.1017/S0007114512001493.
24. Hadley K.B., Ryan A.S., Forsyth S., Gautier S., Salem N.Jr. The Essentiality of Arachidonic Acid in Infant Development. *Nutrients.* 2016;8(4):216. DOI: 10.3390/nu8040216.
25. Genzel-Boroviczény O., Wahle J., Koletzko B. Fatty acid composition of human milk during the 1st month after term and preterm delivery. *Eur J Pediatr.* 1997;156(2):142–7. DOI: 10.1007/s004310050573.
26. Krasovskaya M.A. The content of zinc, copper, cadmium and lead in milk mixtures and breast milk of Omsk residents. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta.* 2019;1:49–51. (In Russian).
27. Stankevich S.S., Kondrat'eva E.I., Barabash N.A., Protasova N.V., Baranovskaya N.V. The microelement composition of breast milk of women living in an industrial city. *Rossiiskii vestnik perinatologii i pediatrii.* 2011;56(1):14–19. (In Russian).

28. Voroncov I.M., Fateeva E.M. Natural feeding of children. Its significance and support. Saint Petersburg: Foliant; 1998. (In Russian). EDN: VAJKDL.
29. Grechkina A.E., Solomaha A.Yu. Excessive weight gain in the first half of life in infants who are breastfed. *Children's Medicine of the North-West*. 2022;10(1):82–87. (In Russian).
30. Berezkina E.N., Ivanov D.O., Novikova V.P. i dr. The nature of feeding newborns in the perinatal center. The difficulties of the first days. *Pediatr*. 2020;11(4):5–13. (In Russian). DOI: 10.17816/PED1145-13.
31. Parr R.M., DeMaeyer E.M., Iyengar V.G., Byrne A.R., Kirkbright G.F., Schöch G., Niinistö L., Pineda O., Vis H.L., Hofvander Y. et al. Minor and trace elements in human milk from Guatemala, Hungary, Nigeria, Philippines, Sweden, and Zaire. Results from a WHO/IAEA joint project. *Biol Trace Elem Res*. 1991;29(1):51–75. DOI: 10.1007/BF03032674.