© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

УДК 616-056.52-008.9-053.2-06:616-002.2-07

Скворцова О.В.^{1,2}, Мигачева Н.Б.¹, Михайлова Е.Г.^{1,2}

Биомаркеры хронического воспаления у детей с ожирением и их связь с осложнениями болезни

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», 443099, Самара, Россия;²ГБУЗ «Самарская областная детская клиническая больница им. Н.Н. Ивановой», 443056, Самара, Россия

Резюме

Актуальность. Распространённость детского ожирения и его осложнений определяет необходимость анализа различных механизмов формирования этих форм патологии, в том числе нарушений, реализующихся в хроническое неспецифическое воспаление (ХНВ) при ожирении.

Цель работы: определить изменения уровней воспалительных биомаркеров у детей с ожирением и их связь с осложнениями болезни.

Материалы и методы. Обследовано 211 детей школьного возраста, из них 188 больных с конституционально-экзогенным ожирением и 23 условно здоровых ребёнка, составивших контрольную группу. Средний возраст детей составил 14 лет. У всех детей определяли антропометрические параметры, уровень лейкоцитов, С-реактивного белка и скорость оседания эритроцитов, вычисляли индекс массы тела по формуле Кетле. Содержание интерлейкинов-1 β , -6, -10, -18 и фактора некроза опухоли- α в крови выявляли иммуноферментным методом.

Результаты. У больных ожирением с метаболическими осложнениями болезни значительно повышен уровень лейкоцитов, С-реактивного белка и интерлейкина-6 в крови по сравнению с детьми без осложнений. Установлены корреляции между уровнями воспалительных биомаркеров и различными осложнениями ожирения. Высокие уровни воспалительных маркеров у детей с осложнениями ожирения свидетельствуют о формировании ассоциированного с ожирением ХНВ на ранних этапах болезни.

Заключение. Установленные закономерности можно использовать в качестве предикторов неблагоприятного течения ожирения у детей и ранних маркеров риска формирования осложнений.

Ключевые слова: дети; конституционально-экзогенное ожирение; осложнения; хроническое неспецифическое воспаление; цитокины; диагностика

Для цитирования: Скворцова О.В., Мигачева Н.Б., Михайлова Е.Г. Биомаркеры хронического воспаления у детей с ожирением и их связь с осложнениями болезни. *Российский педиатрический журнал*. 2025; 28(1): 47–53. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-1-47-53> <https://elibrary.ru/bucfhm>

Для корреспонденции: Скворцова Ольга Викторовна, аспирант каф. педиатрии ИПО ФГБОУ ВО «СамГМУ» Минздрава России; врач педиатр, врач – детский эндокринолог ГБУЗ «СОДКБ им. Н.Н. Ивановой», skvorcova_a@bk.ru

Участие авторов: Скворцова О.В., Мигачева Н.Б. — концепция и дизайн исследования; Скворцова О.В., Михайлова Е.Г. — сбор и обработка материала; Скворцова О.В. — статистическая обработка материала; Скворцова О.В., Мигачева Н.Б. — написание текста; Мигачева Н.Б., Михайлова Е.Г. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 16.01.2025
Принята к печати 30.01.2025
Опубликована 28.02.2025

Olga V. Skvortsova^{1,2}, Nataliya B. Migacheva¹, Evgeniya G. Mikhaylova^{1,2}

Biomarkers of chronic inflammation in children with obesity and their association with complications of the disease

¹Samara State Medical University, Samara, 443099, Russian Federation;²Samara Regional Children's Clinical Hospital named after N.N. Ivanova, 443056, Samara, Russian Federation

Summary

Relevance. The prevalence of childhood obesity and its complications determine the need to analyze the various mechanisms of formation of these forms of pathology, including disorders that are realized in chronic nonspecific inflammation in obesity.

The aim of the study was to determine changes in the levels of inflammatory biomarkers in obese children and their association with complications of the disease.

Materials and methods. There were examined two hundred eleven school-age children, including 188 patients with constitutionally exogenous obesity and 23 conditionally healthy children who made up the control group. The average age of the children was 14 years. Anthropometric parameters were determined in all children, body mass index (BMI) was calculated using the Kettle formula, the number of leukocytes, levels of C-reactive protein and erythrocyte sedimentation rate. The blood (interleukin (IL)-1 β , IL-6, IL-10, IL-18) and tumor necrosis factor- α (TNF α) in the blood was determined by enzyme immunoassay.

Results. Obese patients with metabolic complications of the disease showed significantly increased blood levels of leukocytes, C-reactive protein, and IL-6 when compared with children without complications. Correlations have been established between the levels of inflammatory biomarkers and various complications of obesity. High levels of inflammatory markers in children with complications of obesity indicate the formation of obesity-associated chronic nonspecific inflammation in the early stages of the disease.

Conclusion. The established patterns can be used as predictors of the unfavourable course of obesity in children and early markers of the risk of complications.

Keywords: children; constitutionally exogenous obesity; complications; chronic nonspecific inflammation; cytokines; diagnosis

For citation: Skvortsova O.V., Migacheva N.B., Mikhailova E.G. Biomarkers of chronic inflammation in children with obesity and their association with complications of the disease. *Rossiyskiy Pediatricheskiy Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2025; 28(1): 47–53. (In Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-1-47-53> <https://elibrary.ru/bucfhm>

For correspondence: *Olga V. Skvortsova*, graduate student of Pediatrics department of the Institution of professional education, Samara State Medical University; pediatrician, pediatric endocrinologist, Samara Regional Children's Clinical Hospital named after N.N. Ivanova, skvorcova_a@bk.ru

Contribution: Skvortsova O.V., Migacheva N.B. — concept and design of the study; Skvortsova O.V., Mikhaylova E.G. — data collection and processing; Skvortsova O.V. — statistical processing of the data; Skvortsova O.V., Migacheva N.B. — writing the text; Migacheva N.B., Mikhaylova E.G. — editing the text. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Information about the authors:

Skvortsova O.V., <https://orcid.org/0000-0003-3329-6445>

Migacheva N.B., <https://orcid.org/0000-0003-0941-9871>

Mikhaylova E.G., <https://orcid.org/0000-0002-2213-6334>

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: January 16, 2025

Accepted: January 30, 2025

Published: February 28, 2025

Актуальность

Ожирение у детей — это форма патологии, характеризующаяся отклонением массы тела от нормы, при которой показатели жира в организме ребёнка становятся избыточными, существенно превышая эталонные значения для определённого возраста и роста [1]. По существу, ожирение является многофакторным заболеванием, приводящим к развитию множества метаболических осложнений ожирения (МОО), среди которых частыми являются сахарный диабет 2-го типа, артериальная гипертензия, гиперурикемия, дислипидемия и метаболически ассоциированная жировая болезнь печени (МАЗБП), являющиеся компонентами метаболического синдрома [2–5].

Показатели распространённости ожирения у детей в отдельных регионах России достаточно высокие. В Самарской области в 2021 г. избыток массы тела имели около 21% детей, а частота выявления ожирения у них достигла 13,5% [6]. Однако только 5–7% больных могут достичь значимого снижения массы тела с поддержанием результата, а это определяет высокие риски формирования МОО, коморбидной патологии и уменьшения качества жизни больных [7, 8]. Принято считать, что ожирение без метаболических изменений (метаболически здоровое ожирение, МЗО) — это состояние, при котором риск смерти и сердечно-сосудистых заболеваний ниже, чем при ожирении, связанном с метаболическими изменениями (метаболически нездоровое ожирение, МНЗО), и аналогично риску у здоровых людей, не страдающих ожирением [9–12]. Среди путей формирования ожирения выделяют феномен хронического неспецифического воспаления (ХНВ), формирующегося при МОО [13]. Однако у детей эти вопросы ещё недостаточно изучены, не определены биологические маркеры, ассоциированные с МОО, что делает тему нашей работы актуальной.

Цель работы: определить изменения уровней воспалительных биомаркеров у детей с ожирением и их связи с МОО.

Материалы и методы

Обследовано 211 детей школьного возраста, из них было 188 больных с конституционально-экзогенным

ожирением и 23 условно здоровых ребёнка, составивших контрольную группу. Средний возраст детей составил 14 лет [Q_1 ; Q_3 — 10; 15]. Все обследованные дети были распределены на 3 группы. В группу МЗО вошли дети ($n = 41$) без МОО; группу МНЗО составили 147 больных с МОО; контрольную группу (КГ) составили 23 условно здоровых ребёнка. Такое распределение позволяет объективно оценить значимость МОО и лучше отражает влияние МОО на течение ожирения у детей [14].

Все дети были комплексно обследованы. Критерии избыточной массы тела и ожирения у детей в возрасте от рождения до 19 лет определяли по данным перцентильных таблиц или стандартных отклонений ИМТ (SDS — standard deviation score). В них учитываются не только рост, масса тела, но также пол и возраст ребёнка. Нами использованы стандартные отклонения: -1 , -2 , -3 SDS, медиана и $+1$, $+2$, $+3$ SDS. Ожирение у детей и подростков определяли как ИМТ, равный или превышающий $+2,0$ SDS ИМТ, а избыточную массу тела — как ИМТ от $+1,0$ до $+2,0$ SDS ИМТ [15]. У всех детей было проведено определение скорости оседания эритроцитов (СОЭ), числа лейкоцитов, уровней С-реактивного белка (СРБ), а также ряда интерлейкинов (ИЛ- 1β , ИЛ-6, ИЛ-10, ИЛ-18) и фактора некроза опухоли- α (ФНО- α) в плазме крови. Количественное определение содержания цитокинов проводили с помощью наборов для иммуноферментного анализа цитокинов в плазме крови человека («Вектор-Бест») с помощью прибора «Дупех».

Дизайн и методы исследования одобрены независимым локальным этическим комитетом. Родители больных детей и их законные представители дали письменное добровольное информированное согласие на участие в работе.

Статистический анализ проводили с использованием программы «StatTech v. 3.1.10» («Статтех»). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные представляли в виде медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей [Q_1 ; Q_3]. Сравнение двух групп по количественному показателю

при нормальном распределении и равенстве дисперсий выполняли с помощью t-критерия Стьюдента, при распределении, отличающемся от нормального, — с помощью U-критерия Манна–Уитни. Сравнение 3 и более групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, осуществляли с помощью критерия Краскела–Уоллиса. Направление и тесноту корреляций между показателями оценивали с помощью коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена. Для оценки диагностической значимости количественных признаков при прогнозировании определённого исхода применяли метод анализа ROC-кривых. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определяли по наивысшему значению индекса Юдена.

Результаты

Анализ изменений массы тела и ИМТ у обследованных нами детей показал, что больные с МЗО относятся к группе с избыточной массой тела, а все больные с МНЗО и ИМТ > 30 кг/м² имеют ожирение с опасными МОО: сахарный диабет 2-го типа, артериальная гипертензия, гиперурикемия, МАЖБП, инсулинорезистентность и нарушения углеводного обмена (табл. 1), [9, 12, 16].

При этом у всех детей с ожирением уровни неспецифических маркеров воспаления (лейкоциты, СОЭ, СРБ)

оказались более высокими, чем у условно здоровых детей, причём у больных с МНЗО число лейкоцитов, уровни СОЭ и СРБ было существенно увеличено по сравнению с больными без МОО (табл. 2).

Анализ изменений концентраций цитокинов в крови больных ожирением показал, что только уровни ИЛ-1β и ИЛ-6 существенно увеличивались у условно здоровых детей и у больных с МЗО, в то время как содержание других интерлейкинов и ФНО-α у детей практически не изменялось (табл. 3).

При этом была выявлена зависимость числа лейкоцитов от наличия МОО у больных ожирением. Установлено, что число лейкоцитов было значительно увеличено у больных, имеющих МОО. При этом высокая чувствительность этой зависимости была особенно выражена у больных ожирением, имеющих осложнения в форме артериальной гипертензии (88,2%) и гиперурикемии (84,7%) (табл. 4).

При анализе изменений уровней СОЭ у больных ожирением в зависимости от наличия его осложнений были установлены значимые изменения СОЭ при всех изученных осложнениях. При этом высокая чувствительность этой зависимости была особенно выражена у больных ожирением, имеющих осложнения в форме инсулинорезистентности (86,4%) (табл. 5).

У больных детей в зависимости от наличия МОО существенно изменялись только уровни ИЛ-1β и ИЛ-10 в крови. При этом высокая чувствительность зависимости

Таблица 1 / Table 1

Изменение массы тела и ИМТ при ожирении у детей
 Changes in body weight and BMI in the obese children

Показатель Parameter	Группа Group	Масса тела Body weight			p
		Me	Q ₁ ; Q ₃	n	
Масса тела, кг Body weight, kg	КГ CG	44	28; 60	23	< 0,001
	МЗО МНО	73	49; 82	41	$P_{\text{МЗО-КГ} \text{МНО-CG}} = 0,003$
	МНЗО МУО	89	72; 101	147	$P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-CG}} < 0,001$ $P_{\text{МНЗО-МЗО} \text{МУО-МНО}} < 0,001$
ИМТ, кг/м ² BMI, kg/m ²	КГ CG	17	16; 21	23	< 0,001
	МЗО МНО	28	26; 31	41	$P_{\text{МЗО-КГ} \text{МНО-CG}} < 0,001$
	МНЗО МУО	32	29; 36	147	$P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-CG}} < 0,001$ $P_{\text{МНЗО-МЗО} \text{МУО-МНО}} < 0,001$

Note. Here and in other tables: CG — control group; МНО — metabolically healthy obesity; МУО — metabolically unhealthy obesity.

Таблица 2 / Table 2

Изменение числа лейкоцитов, уровней СОЭ и СРБ при ожирении у детей
 Changes in white blood cell count, erythrocyte sedimentation rate and C-reactive protein levels in obese children

Биомаркеры Biomarkers	Группа Group	M ± SD	Q ₁ ; Q ₃	n	p
Лейкоциты Leukocyte	КГ CG	6 ± 1	6; 7	23	< 0,001
	МЗО МНО	7 ± 1	6; 7	41	$P_{\text{КГ-МНЗО} \text{CG-МНО}} < 0,001$
	МНЗО МУО	8 ± 2	7; 8	147	$P_{\text{МЗО-МНЗО} \text{МНО-МУО}} = 0,007$
СОЭ Erythrocyte sedimentation rate	КГ CG	4 ± 1	3; 5	23	< 0,001
	МЗО МНО	7 ± 1	5; 13	41	$P_{\text{МЗО-КГ} \text{МНО-CG}} = 0,002$
	МНЗО МУО	10 ± 3	4; 15	147	$P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-CG}} < 0,001$
СРБ C-reactive protein	КГ CG	0	0; 2	23	< 0,001
	МЗО МНО	4 ± 1	1; 4	41	$P_{\text{МЗО-КГ} \text{МНО-CG}} = 0,005$
	МНЗО МУО	4 ± 1	2; 7	147	$P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-CG}} < 0,001$ $P_{\text{МНЗО-МЗО} \text{МУО-МНО}} = 0,017$

Таблица 3 / Table 3

Изменение уровня цитокинов при ожирении у детей
 Changes in cytokine levels in children with obesity

Цитокины Cytokines	Группа Group	Me	Q ₁ ; Q ₃	n	p
ИЛ-1β IL-1	КГ CG	0,029	0,000; 1,009	23	0,002 $P_{\text{МЗО-КГ} \text{МНО-КГ}} = 0,017$ $P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-КГ}} = 0,001$
	МЗО МНО	1,596	0,000; 1,911	41	
	МНЗО МУО	1,411	0,151; 1,945	147	
ИЛ-6 IL-6	КГ CG	0,444	0,172; 0,643	23	0,006 $P_{\text{МНЗО-КГ} \text{МУО-КГ}} = 0,013$
	МЗО МНО	0,680	0,292; 0,994	41	
	МНЗО МУО	0,794	0,492; 1,428	147	
ИЛ-10 IL-10	КГ CG	1,229	0,562; 2,446	23	0,439
	МЗО МНО	1,408	0,636; 2,168	41	
	МНЗО МУО	1,771	0,748; 2,740	147	
ИЛ-18 IL-18	КГ CG	195,247	154,106; 260,374	23	0,851
	МЗО МНО	221,974	154,179; 261,374	41	
	МНЗО МУО	209,365	148,911; 269,124	147	
ФНО-α TNF-α	КГ CG	0,662	0,160; 1,215	23	0,242
	МЗО МНО	0,527	0,280; 1,032	41	
	МНЗО МУО	0,728	0,394; 1,230	147	

Таблица 4 / Table 4

Изменение уровня лейкоцитов в зависимости от осложнений ожирения у детей
 Changes in leukocyte levels depending on complications of obesity in children

Форма осложнения Form of complications	Наличие осложнений The presence of complications	Лейкоциты Leukocyte			p	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %
		M ± SD	Q ₁ ; Q ₃	n			
Артериальная гипертензия Arterial hypertension	Нет No	7,2 ± 1,7	6,9; 7,5	122	0,002	88,2	39,3
	Да Yes	8,2 ± 1,7	7,6; 8,8	34			
Гиперурикемия Hyperuricemia	Нет No	7,1 ± 1,8	6,7; 7,5	84	0,011	84,7	38,1
	Да Yes	7,8 ± 1,7	7,4; 8,2	72			
МАЗБП MAFLD	Нет No	6,9 ± 1,5	6,6; 7,2	95	< 0,001	73,8	61,1
	Да Yes	8,2 ± 1,9	7,7; 8,7	61			
Инсулинорезистентность Insulin resistance	Нет No	7,1 ± 1,7	6,7; 7,4	97	0,001	69,5	59,8
	Да Yes	8,0 ± 1,8	7,5; 8,5	59			
Нарушение углеводного обмена/ сахарный диабет 2-го типа Violation of carbohydrate metabolism/type 2 diabetes mellitus	Нет No	7,1	6,1; 8,4	117	0,048	61,5	57,3
	Да Yes	7,8	6,6; 9,0	39			
Дислипидемия Dyslipidemia	Нет No	7,0	6,1; 8,3	157	0,047	57,4	56,7
	Да Yes	7,8	6,6; 8,6	54			

Note. MAFLD — metabolically associated fatty liver disease.

ИЛ-1β была особенно выражена у больных ожирением, имеющих осложнения в форме МАЗБП (88,5%) и гиперурикемии (84,7%) (табл. 6).

При проведении корреляционного анализа установлены слабые или умеренные корреляции между уровнями воспалительных биомаркеров в крови и числом осложнений ожирения у детей (табл. 7).

Обсуждение

Мы сравнили изменения числа лейкоцитов, уровня СОЭ, СРБ и содержания нескольких ИЛ и ФНО-α в крови 147 детей с МНЗО. Ранее было показано, что

уровни ФНО-α у больных ожирением детей были выше, чем в КГ, что представлялось как доказательство того, что ожирение вызывает воспаление в организме [13, 14]. При этом уровни ИЛ-10, которые подавляют воспаление, были ниже у больных с ожирением, чем у здоровых детей [17]. Однако мы не выявили этих изменений уровней ИЛ-10. Более того, была установлена прямая связь содержания ИЛ-10 с наличием таких МОО, как гиперурикемия и МАЗБП.

Жировая ткань имеет высокую иммунную активность и может быть вовлечена во многие воспалительные процессы [18, 19]. Вместе с тем показано, что

Таблица 5 / Table 5

Изменение уровня СРБ в зависимости от осложнений ожирения у детей
Changes in C-reactive protein levels depending on complications of childhood obesity

Формы осложнений Forms of complications	Наличие осложнений The presence of complications	СРБ C-reactive protein			p	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %
		Me	Q ₁ ; Q ₃	n			
Артериальная гипертензия Arterial hypertension	Нет No	3	1; 5	163	< 0,001	66,7	69,9
	Да Yes	5	3; 1	48			
Нарушение углеводного обмена/ сахарный диабет 2-го типа Violation of carbohydrate metabolism/type 2 diabetes mellitus	Нет No	3	1; 5	158	0,011	41,5	82,3
	Да Yes	4	2; 8	53			
Гиперурикемия Hyperuricemia	Нет No	3	1; 5	113	0,002	41,8	83,2
	Да Yes	4	2; 8	98			
МАЗБП MAFLD	Нет No	3	1; 4	128	< 0,001	56,7	78,1
	Да Yes	6	3; 9	83			
Инсулинорезистентность Insulin resistance	Нет No	3	0; 4	97	0,002	86,4	38,1
	Да Yes	4	2; 7	59			
Дислипидемия Dyslipidemia	Нет No	3	1; 6	157	0,037	31,5	90,4
	Да Yes	4	2; 9	54			

Таблица 6 / Table 6

Изменение уровня цитокинов в зависимости от осложнений ожирения у детей
Changes in cytokine levels depending on complications of the childhood obesity

Форма осложнения Forms of complication	Наличие осложнения The presence of complication	Me	Q ₁ ; Q ₃	n	p	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %
ИЛ-1β IL-1β Нарушение углеводного обмена/ сахарный диабет 2-го типа Violation of carbohydrate metabolism/ type 2 diabetes mellitus	Нет No	0,503	0,000; 1,606	117	0,024	35,9	87,2
	Да Yes	1,297	0,148; 1,925	39			
Гиперурикемия Hyperuricemia	Нет No	0,299	0,000; 1,369	84	0,001	84,7	40,5
	Да Yes	1,163	0,193; 1,833	72			
МАЗБП MAFLD	Нет No	0,430	0,000; 1,601	95	0,010	88,5	40,0
	Да Yes	1,027	0,224; 1,757	61			
ИЛ-10 IL-10 Гиперурикемия Hyperuricemia	Нет No	1,208	0,496; 2,196	84	0,037	55,6	66,7
	Да Yes	1,921	0,852; 2,776	72			
МАЗБП MAFLD	Нет No	1,186	0,489; 2,207	95	0,046	65,6	58,9
	Да Yes	1,987	0,918; 2,681	61			

Таблица 7 / Table 7

Корреляции между уровнями воспалительных биомаркеров в крови и числом осложнений ожирения у детей
Correlations between the levels of blood inflammatory biomarkers and the number of complications of obesity in children

Показатель Parameter	p	Теснота связей Tightness of connections	p
СОЭ—Число МОО Erythrocyte sedimentation rate—The number of complications of obesity	0,182	Слабая Weak	0,008
Лейкоциты—Число МОО Leukocytes—The number of complications of obesity	0,352	Умеренная Moderate	< 0,001
СРБ—Число МОО C-reactive protein—The number of complications of obesity	0,388	Умеренная Moderate	< 0,001
ИЛ-1β—Число МОО IL-1β—The number of complications of the obesity	0,241	Слабая Weak	0,002

у части больных с МЗО ни циркулирующие уровни основных цитокинов, ни профиль экспрессии большого набора провоспалительных и противовоспалительных генов в подкожном и висцеральном жире не отличались от таковых у больных с МНЗО [20]. Наличие корреляции уровней воспалительных маркеров (ФНО- α , ИЛ-6, СРБ) с МОО ранее было показано у взрослых больных. При этом в динамике на фоне модификации образа жизни и снижения массы тела у этих больных указанные показатели также пропорционально снижались [21].

При 6-летнем наблюдении за больными ожирением выявлена взаимосвязь повышения уровней СРБ с формированием МАЖБП [22]. Установлены прямая связь между уровнями СРБ, ИМТ и гликированным гемоглобином и обратная связь с содержанием липопротеидов высокой плотности [23]. В связи с этим есть предложение рассматривать повышение СРБ у больных ожирением в качестве предиктора формирования отдельных осложнений ожирения у детей [24]. У здоровых подростков гематологические маркеры воспаления увеличиваются с увеличением массы тела, а соотношение лейкоцитов и лимфоцитов связано с повышением уровня компонента и независимыми маркерами воспаления, но не с кардиометаболическим риском [25].

Анализ показал, что ожирение — это хроническое заболевание, связанное с воспалением низкой степени выраженности, главным образом, из-за инфильтрации иммунными клетками белой жировой ткани (WAT). WAT распределяется на два основных хранилища: подкожное WAT (sWAT) и висцеральное WAT (vWAT), каждое из которых обладает различными биохимическими особенностями и метаболическими функциями [26]. Недавно установлено, что провоспалительные цитокины, включая ИЛ-16, секретируются как адипоцитами, так и инфильтрированными иммунными клетками для усиления регуляции воспаления. При этом экспрессия ИЛ-16 была повышена в vWAT по сравнению с sWAT у больных ожирением. Моделирование *in vitro* показало, что ИЛ-16 может модулировать маркеры адипогенеза, липидного обмена, фиброза и воспаления как во время адипогенеза, так и в зрелых адипоцитах [25, 27]. Анализ диагностического и прогностического значения растворимого урокиназного рецептора активатора плазминогена (suPAR) как маркера воспаления и нарушения функции эндотелия, у детей при ожирении показал, что средние уровни suPAR в сыворотке крови были значительно повышены у больных ожирением по сравнению с контрольной группой, в то время как у детей с сахарным диабетом 1-го типа уровни suPAR были такими же, как и у детей КГ. При этом уровни suPAR в сыворотке крови положительно коррелировали с Z-score ИМТ [28]. Очевидно, что наряду с такими маркерами ХНВ, как число лейкоцитов, СОЭ и СРБ, уровень suPAR в сыворотке крови может быть полезным прогностическим маркером воспаления или эндотелиальной дисфункции у детей с ожирением и перспективной терапевтической мишенью.

Выявлена связь между снижением массы тела и неблагоприятными метаболическими фенотипами больных ожирением, в частности, резистентностью к инсулину, увеличенным артериальным давлением и изменением уровня белка в плазме, которые были более

выражены у детей с ожирением [29]. Дислипидемия и инсулинорезистентность были наиболее распространенными сопутствующими заболеваниями при ожирении у детей [13]. Поэтому для снижения риска прогрессирования МОО у детей в будущем необходима разработка эффективных стратегий профилактики и лечения этих больных, особенно тех, кто составил группу МНЗО.

Заключение

Установлено повышение уровней неспецифических биомаркеров воспаления (лейкоцитов, СОЭ, СРБ) у детей с ожирением и их значимое увеличение у больных с МОО по сравнению с детьми без осложнений ожирения. Выявлено увеличение содержания ИЛ-1 β в крови у больных с ожирением вне зависимости от наличия осложнений заболевания и повышение уровней ИЛ-6 у больных с МОО. Наличие связей между ХНВ и формированием МОО у детей позволяет использовать изученные биомаркеры в качестве потенциальных предикторов неблагоприятного течения ожирения у детей и учитывать их динамику при определении тактики его лечения.

Литература

(п.п. 1-5; 9-14; 16-18; 20-29 см. References)

6. Скворцова О.В., Мигачева Н.Б., Михайлова Е.Г., Каткова Л.И. Оценка распространенности избытка массы тела и ожирения среди детей школьного возраста в г. Самаре. *Медицинский вестник Юга России*. 2022; 13(4): 106–113. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2022-13-4-106-113> <https://elibrary.ru/zzsgcf>
7. Гусейнова Р.М., Доровских А.В., Васюкова О.В., Шестакова Е.А., Окорочков П.Л., Мокрышева Н.Г. Причины рецидива ожирения после снижения массы тела. *Проблемы эндокринологии*. 2024; 70(3): 67–73. <https://doi.org/10.14341/probl13275> <https://elibrary.ru/gnqhw>
8. Васюкова О.В., Окорочков П.Л., Безлепкина О.Б. Современные стратегии лечения ожирения у детей. *Проблемы эндокринологии*. 2022; 68(6): 131–6. <https://doi.org/10.14341/probl13208> <https://elibrary.ru/ervhyw>
15. Петеркова В.А., Безлепкина О.Б., Болотова Н.В., Богова Е.А., Васюкова О.В., Гирш Я.В. и др. Клинические рекомендации «Ожирение у детей». *Проблемы эндокринологии*. 2021; 67(5): 67–83. <https://doi.org/10.14341/probl12802> <https://elibrary.ru/ixizsv>
19. Романцова Т.И., Сыч Ю.П. Иммунометаболизм и метавоспаление при ожирении. *Ожирение и метаболизм*. 2019; 16(4): 3–17. <https://doi.org/10.14341/omet12218> <https://elibrary.ru/gifrww>

References

1. Waldrop S.W., Ibrahim A.A., Maya J., Monthe-Dreze C., Stanford F.C. Overview of pediatric obesity as a disease. *Pediatr. Clin. North Am.* 2024; 71(5): 761–79. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2024.06.003>
2. Mosca A., Volpe L.D., Sartorelli M.R., Comparcola D., Veraldi S., Alisi A., et al. Metabolic associated fatty liver disease in children and adolescents: mechanisms of a silent epidemic and therapeutic options. *Curr. Pediatr. Rev.* 2024; 20(3): 296–304. <https://doi.org/10.2174/1573396319666230403121805>
3. Cheng K.L., Wang S.W., Cheng Y.M., Hsieh T.H., Wang C.C., Kao J.H. Prevalence and clinical outcomes in subtypes of metabolic associated fatty liver disease. *J. Formos. Med. Assoc.* 2024; 123(1): 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2023.07.010>
4. Adeva-Andany M.M., Domínguez-Montero A., Adeva-Contreras L., Fernández-Fernández C., Carneiro-Freire N., González-Lucán M. Body fat distribution contributes to defining the relationship between insulin resistance and obesity in human diseases. *Curr. Diabetes Rev.* 2024; 20(5): e160823219824. <https://doi.org/10.2174/1573399820666230816111624>

5. Taner S., Gezici E., Unal A., Tolunay O. The association of obesity and hyperuricemia with ambulatory blood pressure in children. *Pediatr. Nephrol.* 2025; 40(3): 787–96. <https://doi.org/10.1007/s00467-024-06540-0>
6. Skvortsova O.V., Migacheva N.B., Mikhaylova E.G., Katkova L.I. Assessment of the prevalence of overweight and obesity among school-age children in Samara. *Meditsinskiy vestnik Yuga Rossii.* 2022; 13(4): 106–13. <https://doi.org/10.21886/2219-8075-2022-13-4-106-113> <https://elibrary.ru/zzsgcf> (in Russian)
7. Guseinova R.M., Dorovskikh A.V., Vasyukova O.V., Shestakova E.A., Okorokov P.L., Mokrysheva N.G. The causes of obesity relapse after weight loss. *Problemy endokrinologii.* 2024; 70(3): 67–73. <https://doi.org/10.14341/probl13275> <https://elibrary.ru/gn-qhwb> (in Russian)
8. Vasyukova O.V., Okorokov P.L., Bezlepina O.B. Modern strategies for the treatment of childhood obesity. *Problemy endokrinologii.* 2022; 68(6): 131–6. <https://doi.org/10.14341/probl13208> <https://elibrary.ru/ervhyw> (in Russian)
9. Lonardo A., Mantovani A., Lugari S., Targher G. Epidemiology and pathophysiology of the association between NAFLD and metabolically healthy or metabolically unhealthy obesity. *Ann. Hepatol.* 2020; 19(4): 359–66. <https://doi.org/10.1016/j.aohep.2020.03.001>
10. Tsatsoulis A., Paschou S.A. Metabolically healthy obesity: criteria, epidemiology, controversies, and consequences. *Curr. Obes. Rep.* 2020; 9(2): 109–20. <https://doi.org/10.1007/s13679-020-00375-0>
11. Barrea L., Muscogiuri G., Pugliese G., de Alteriis G., Colao A., Savastano S. Metabolically Healthy Obesity (MHO) vs. Metabolically Unhealthy Obesity (MUO) phenotypes in PCOS: association with endocrine-metabolic profile, adherence to the mediterranean diet, and body composition. *Nutrients.* 2021; 13(11): 3925. <https://doi.org/10.3390/nu13113925>
12. Kawai S., Yamakage H., Kotani K., Noda M., Satoh-Asahara N., Hashimoto K. Differences in metabolic characteristics between metabolically healthy obesity (MHO) and metabolically unhealthy obesity (MUO) in weight reduction therapy. *Endocr. J.* 2023; 70(12): 1175–86. <https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ23-0189>
13. Gokulakrishnan R., Delhikumar C.G., Senthilkumar G.P., Sahoo J., Kumar R.R. Chronic inflammatory markers in overweight and obese children: a cross-sectional analytical study. *Indian J. Endocrinol. Metab.* 2024; 28(5): 542–7. https://doi.org/10.4103/ijem.ijem_353_23.7
14. Lyo V., Arriola J., Ahmed S.M., Mostaedi R., Akinjobi Z., Shamseddin H.N., et al. Assessment of obesity-related metabolic conditions: a novel objective scoring system better informs metabolic disease severity. *Surg. Obes. Relat. Dis.* 2025; 21(3): 207–15. <https://doi.org/10.1016/j.soard.2024.09.004>
15. Peterkova V.A., Bezlepina O.B., Bolotova N.V., Bogova E.A., Vasyukova O.V., Girsh Ya.V., et al. Clinical guidelines «Obesity in children». *Problemy endokrinologii.* 2021; 67(5): 67–83. <https://doi.org/10.14341/probl12802> <https://elibrary.ru/ixizsv> (in Russian)
16. Yang H., Ying J., Zu T., Meng X.M., Jin J. Insights into renal damage in hyperuricemia: focus on renal protection (review). *Mol. Med. Rep.* 2025; 31(3): 59. <https://doi.org/10.3892/mmr.2024.13424>
17. Gul A., Yilmaz R. Determination of inflammation by TNF-alpha and IL-10 levels in obese children and adolescents. *Nutr. Hosp.* 2024; 41(4): 788–92. <https://doi.org/10.20960/nh.05064>
18. Bader-Meunier B. Immuno-inflammatory involvement of adipose tissue in children. *Ann. Endocrinol. (Paris).* 2024; 85(3): 211–3. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2024.04.001>
19. Romantsova T.R., Sych Yu.P. Immunometabolism and meta-inflammation in obesity. *Ozhirenie i metabolizm.* 2019; 16(4): 3–17. <https://doi.org/10.14341/omet12218> <https://elibrary.ru/gifrwj> (in Russian)
20. Spoto B., Di Betta E., Pizzini P., Lonardi S., Mallamaci F., Tripepi G., et al. Inflammation biomarkers and inflammatory genes expression in metabolically healthy obese patients. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2023; 33(3): 584–91. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2022.12.008>
21. Cobos-Palacios L., Ruiz-Moreno M.I., Vilches-Perez A., Vargas-Candela A., Muñoz-Úbeda M., Benítez Porres J., et al. Metabolically healthy obesity: Inflammatory biomarkers and adipokines in elderly population. *PLoS One.* 2022; 17(6): e0265362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265362>
22. Zhao D., Cui H., Shao Z., Cao L. Abdominal obesity, chronic inflammation and the risk of non-alcoholic fatty liver disease. *Ann. Hepatol.* 2023; 28(4): 100726. <https://doi.org/10.1016/j.aohep.2022.100726>
23. Shin S.H., Lee Y.J., Lee Y.A., Kim J.H., Lee S.Y., Shin C.H. High-sensitivity C-reactive protein is associated with prediabetes and adiposity in Korean youth. *Metab. Syndr. Relat. Disord.* 2020; 18(1): 47–55. <https://doi.org/10.1089/met.2019.0076.16>
24. Hoffman R.P., Yu C.Y. Hematologic and biochemical inflammatory markers increase with body mass and positively correlate in adolescents. *Pediatr. Res.* 2024; 95(1): 223–6. <https://doi.org/10.1038/s41390-023-02769-x>
25. Reyes-Farias M., Fernández-García P., Corrales P., González L., Soria-Gondek A., Martínez E., et al. Interleukin-16 is increased in obesity and alters adipogenesis and inflammation in vitro. *Front. Endocrinol. (Lausanne).* 2024; 15: 1346317. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1346317>
26. Bryl E., Hanć T., Szcześniewska P., Dutkiewicz A., Dmitrak-Węglarz M., Słopeń A. The relation between prenatal stress, overweight and obesity in children diagnosed according to BMI and percentage fat tissue. *Eat. Weight Disord.* 2022; 27(7): 2759–73. <https://doi.org/10.1007/s40519-022-01416-4>
27. Menendez A., Wanczyk H., Walker J., Zhou B., Santos M., Finck C. Obesity and adipose tissue dysfunction: from pediatrics to adults. *Genes (Basel).* 2022; 13(10): 1866. <https://doi.org/10.3390/genes13101866>
28. Kostopoulou E., Kalavrizioti D., Davoulou P., Sinopidis X., Papanichou E., Goumenos D.S., et al. Soluble urokinase plasminogen activator receptor (suPAR) in children with obesity or type 1 diabetes as a marker of endothelial dysfunction: a cross-sectional study. *Eur. J. Pediatr.* 2024; 183(5): 2383–9. <https://doi.org/10.1007/s00431-024-05496-5>
29. Stinson S.E., Kromann Reim P., Lund M.A.V., Lausten-Thomsen U., Aas Holm L., Huang Y., et al. The interplay between birth weight and obesity in determining childhood and adolescent cardiometabolic risk. *EBioMedicine.* 2024; 105: 105205. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105205>

Сведения об авторах:

Мигачева Наталья Бегиевна, доктор мед. наук, зав. каф. педиатрии ИПО ФГБОУ ВО Самгму Минздрава России, nbmigacheva@gmail.com; **Михайлова Евгения Геннадьевна**, канд. мед. наук, доцент каф. педиатрии ИПО ФГБОУ ВО Самгму Минздрава России; зав. отделением детской эндокринологии ГБУЗ «СОДКБ им. Н.Н. Ивановой», e.mikhailova13@yandex.ru