

УДК 616.211-002.193:577.121.7:616-092.19(470.62)

DOI: 10.29039/2224-6444-2025-15-4-35-40

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА И ЭНДОГЕННОЙ ИНТОКСИКАЦИИ ПРИ ПОЛЛИНОЗЕ У ЖИТЕЛЕЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Павлюченко И. И.¹, Клименко Я. В.¹, Мартыненко М. Н.¹, Коков Е. А.¹, Федотова Н. В.²,

Мороз А. Н.¹

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, 350063, ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, Россия

²ГБУЗ «НИИ - Краевая клиническая больница № 1 им. профессора С. В. Очаповского», 350086, ул. 1 Мая, 167, Краснодар, Россия

Для корреспонденции: Клименко Яна Владимировна, аспирант кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет», e-mail: yana.klimenk@mail.ru

For correspondence: Yana V. Klimenko, postgraduate student of the Department of Normal Physiology, Kuban State Medical University, e-mail: yana.klimenk@mail.ru

Information about authors:

Pavluchenko I. I., <http://orcid.org/0001-0001-7080-7641>

Klimenko Ya. V., <http://orcid.org/0000-0002-1470-2391>

Martynenko M. N., <http://orcid.org/0000-0002-7035-0394>

Kokov E. A., <https://orcid.org/0000-0001-5239-0846>

Fedotova N. V., <https://orcid.org/0000-0003-0631-7212>

Moroz A. N., <https://orcid.org/0000-0002-0106-0350>

РЕЗЮМЕ

Поллиноз, имеющий мультифакториальную природу, является одним из часто встречаемых аллергических заболеваний, в особенности в Краснодарском крае. Ключевым звеном в патогенезе поллиноза, как и большинства мультифакторных заболеваний, выступает окислительный стресс, обуславливающий целый каскад патобиохимических реакций, приводящих к развитию эндогенной интоксикации в организме. Целью работы стало исследование изменения уровня малонового диальдегида (МДА) и сорбционной способности эритроцитов (ССЭ) как факторов контроля развития окислительного стресса и эндогенной интоксикации при поллинозе в одном из самых аллергенных регионов страны – Краснодарском крае. Материал и методы. Проведено исследование лиц, страдающих поллинозом и пациентов с бронхиальной астмой (БА) изолированной и коморбидной с поллинозом формами, определены показатели уровня МДА и ССЭ в венозной крови. Исследуемая группа пациентов была разделена на подгруппы в зависимости от формы заболевания, результаты сопоставлены с данными контрольной группы. Результаты. Выявлено, изолированный поллиноз характеризуется статистически достоверно повышенными, в сравнении с контрольной группой, реакциями перекисного окисления липидов (высокий МДА) и специфической трансформацией мембран эритроцитов (снижение ССЭ). У пациентов с коморбидной формой поллиноза на фоне БА, а также у пациентов с БА на фоне хронического течения заболевания отмечено менее выраженное повышение уровня МДА и менее выраженное снижение показателя ССЭ. Заключение. Это, возможно, связано с активацией защитных механизмов при хроническом течении БА, что проявляется снижением прооксидантной нагрузки на клеточные структуры у данной группы пациентов на фоне проводимого лечения.

Ключевые слова: мультифакториальные заболевания, поллиноз, сорбционная способность эритроцитов, малоновый диальдегид, окислительный стресс, эндогенная интоксикация

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF OXIDATIVE STRESS AND ENDOGENOUS INTOXICATION IN POLLINOSIS IN RESIDENTS OF THE KRASNODAR TERRITORY

Pavlyuchenko I. I.¹, Klimenko Ya. V.¹, Martynenko M. N.¹, Kokov E. A.¹, Fedotova N. V.², Moroz A. N.¹

¹Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

²Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital No. 1, Krasnodar, Russia

SUMMARY

Hay fever, which has a multifactorial nature, is one of the most common allergic diseases, especially in the Krasnodar Territory. The key link in the pathogenesis of pollinosis, like most multifactorial diseases, is oxidative stress, which causes a cascade of pathobiochemical reactions, leading to the development of endogenous intoxication in the body. The aim of the work was to study changes in the level of malondialdehyde (MDA) and the sorption capacity of erythrocytes (SCE) as factors controlling the development of oxidative stress and endogenous intoxication in pollinosis in one of the most allergenic regions of the country – the Krasnodar Territory. Material and methods. A study of people suffering from pollinosis and patients with isolated and comorbid forms of bronchial asthma (BA) with pollinosis was conducted, and the levels of MDA and SCE in venous blood were determined. The study group of patients was divided

into subgroups depending on the form of the disease, the results were compared with the data of the control group. Results. Isolated pollinosis was found to be characterized by statistically significantly increased lipid peroxidation reactions (high MDA) and specific transformation of erythrocyte membranes (decreased SCE) in comparison with the control group. In patients with a comorbid form of pollinosis on the background of BA, as well as in patients with BA on the background of the chronic course of the disease, there was a less pronounced increase in the level of MDA and a less pronounced decrease in the SCE index. Conclusion. This may be due to the activation of protective mechanisms in the chronic course of BA, which is manifested by a decrease in the pro-oxidant load on cellular structures in this group of patients during treatment.

Key words: multifactorial diseases, pollinosis, sorption capacity of erythrocytes, malondialdehyde, oxidative stress, endogenous intoxication

Мультифакториальные заболевания (МФЗ) – обширная группа болезней, имеющих значительный клинический полиморфизм, полигенное наследование, различный возраст манифестации. Распространенность МФЗ составляет около 80-90% от всех патологий человека [1; 2]. Одним из часто встречаемых аллергических заболеваний (АЗ) является поллиноз, который имеет мультифакториальную природу [1]. Пациенты с данной патологией отличаются высокой сенсibiliзацией к аэроаллергенам, что является основной причиной развития у них аллергического ринита, конъюнктивита, атопического дерматита (АтД) и БА [1]. Данные нозологии значительно снижают качество жизни лиц, имеющих эти проблемы со здоровьем. По эпидемиологическим данным, заболеваемость поллинозом в стране составляет 15-30%, а на юге России, за счет сложившихся определенных климато-географических и ботанических условий, являющихся благоприятными для роста и распространения аллергенных растений, заболеваемость повышается [1]. Так, в Краснодарском крае более 40% людей имеют гиперчувствительность к аэроаллергенам [1].

Ключевым звеном в патогенезе поллиноза, как и большинства МФЗ, выступает окислительный стресс (ОС), обуславливающий целый каскад патобиохимических реакций свободно-радикального окисления (СРО), прежде всего, реакций перекисного окисления липидов (ПОЛ) [3]. В результате этих процессов образуется большое количество высокотоксических продуктов, участвующих в развитии эндогенной интоксикации (ЭИ) [4]. Также, в результате СРО образуются различные представители активных форм кислорода (АФК) в высоких концентрациях, которые инициируют каскадные реакции ПОЛ, в результате чего нарушается структура и функция клеточных мембран и самих клеток всего организма [5]. Особенно токсичное влияние оказывают АФК на красные клетки крови – эритроциты, основная функция которых связана с транспортировкой кислорода [5; 6]. При активации ПОЛ происходят изменения в фосфолипидном слое мембран клеток, в состав которого входят непредельные жирные кислоты, которые являются основной мишенью АФК. Это меняет текучесть мембраны эритроцитов, тем

самым затрудняя их прохождение через ретикуло-эндотелиальный барьер и, соответственно, страдает снабжение тканей кислородом [5; 6]. Компоненты фосфолипидов эритроцитов сами могут становиться токсичными при вовлечении в неконтролируемые реакции ПОЛ, что является фактором образования «брешей» в плазмолемме, влияя на избирательную проницаемость данных клеток крови [6; 7]. Проявления нарушения в мембранных комплексах клеток крови можно отследить по изменению сорбционной способности эритроцитов (ССЭ), которая отражает наличие в организме ОС и ЭИ [7].

В результате неконтролируемых реакций ПОЛ образуется также большое количество разнообразных перекисных продуктов, одним из наиболее часто встречаемых является малоновый диальдегид (МДА). МДА является объективным маркером интенсивности ПОЛ, выраженности ОС и ЭИ, которые имеют место и при поллинозах [1].

Современные исследования выявляют взаимосвязь между ЭИ и ОС при АЗ. В работе Мавлянова Ш. З., Муминова С. Р. и Гулямова Г. Ш. отмечено, что у пациентов с АтД наблюдается разной степени выраженности ЭИ, характеризующаяся повышенным уровнем ССЭ. Так, у лиц с легкой степенью АтД показатель ССЭ в сыворотке крови составил $36,1 \pm 0,69\%$, что достоверно выше ($p < 0,001$), чем в контрольной группе ($29,08 \pm 0,88\%$). При средней тяжести заболевания ССЭ достигла $38,3 \pm 0,28\%$, а уровень пептидов молекул средней массы, отражающих ЭИ – $0,363 \pm 0,005$ ЕЭ. У пациентов с тяжелой формой АтД показатель ССЭ возрос до $40,2 \pm 0,8\%$ [8]. Лаврентьев А. А. и соавторы в исследовании маркеров ЭИ отмечают, что динамика ССЭ коррелирует с клинической картиной – при подостром течении с положительной динамикой отмечается нормализация ССЭ и снижение гипосмотического гемолиза, а в острых случаях, напротив, наблюдается снижение ССЭ на фоне прогрессирования симптомов [9].

ОС как ключевой фактор патогенеза изучался при многих МФЗ, в том числе и при БА. Так китайские исследователи выявили повышение концентрации МДА в назальной жидкости у пациентов с БА на $38,6-54,9\%$ [10]. Дополняя эти

данные, в работе Abboud M. M. и его коллег демонстрируются значимые изменения окислительных маркеров, включая МДА, в сыворотке крови и слюне лиц с БА по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$) [11]. Роль ОС и реакций ПОЛ в аллергических реакциях подтверждается исследованием Zanjani V. N. и ее коллег [12]. У пациентов с аллергической БА уровень МДА в плазме ($4,98 \pm 1,77$ нмоль/мл) существенно превышал показатели здоровых лиц ($1,14 \pm 0,31$ нмоль/мл; $p < 0,001$), что указывает на вовлеченность процессов ПОЛ в развитие АЗ [12].

Таким образом, изменения ССЭ и основных маркеров ОС, таких как МДА, являются важными индикаторами при оценке тяжести и динамики аллергических патологий, в том числе поллиноза.

Цель данной работы – исследование уровня МДА и ССЭ как факторов контроля развития и течения ОС и ЭИ при поллинозе и БА у жителей Краснодарского края.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведено обсервационное когортное исследование «случай-контроль». Осуществлено лабораторно-биохимическое исследование венозной крови 128 человек, страдающих поллинозом, обратившихся в краевой аллергологический центр ГБУЗ «НИИ – ККБ № 1» (81 женщина и 47 мужчин, возраст – 37, 0 (20,0;51,75) лет) по поводу обострения заболевания в период март-октябрь 2023 и 2024 годов. Исследуемая группа была разделена на три подгруппы: первая – лица с поллинозом, имеющие подтвержденный диагноз «Аллергический ринит, вызванный пыльцой аллергенных растений» в сочетании с диагнозом «Аллергический конъюнктивит», «Атопический дерматит» (78 человек – 52 женщины и 26 мужчин); вторая – лица с диагнозом «Астма с преобладанием аллергического компонента» (13 человек – 6 женщин и 7 мужчин); третья – сочетанная форма АЗ, включающая диагнозы «Аллергический ринит, вызванный пыльцой аллергенных растений», «Аллергический конъюнктивит», «Атопический дерматит», «Астма с преобладанием аллергического компонента» (37 человек – 23 женщин и 14 мужчин). Диагноз устанавливался на основании сбора данных клинического (анамнез, объективный осмотр) и лабораторного обследования (положительный прик-тест и/или специфические IgE как минимум к одному сезонному аллергену, специфичному для региона). В качестве контрольной группы принимались условно здоровые лица, не имеющие данного АЗ, сравнимого с основной группой возраста (114 человек – 44 женщины и 70 мужчины, возраст – 31,0 (22,0; 44,00) год). Все обследованные – жители Краснодарского края. Критерии включения: возраст

от 18 до 75 лет, добровольное информированное согласие, наличие верифицированного диагноза «Аллергический ринит, вызванный пыльцой растений», «Аллергический конъюнктивит», «Атопический дерматит» и «Астма с преобладанием аллергического компонента». Критерии исключения: возраст младше 18 и старше 75 лет; наличие активной симптоматики поллиноза вне сезона цветения аллергенных растений; проведение симптоматической и/или аллергенспецифической терапии на момент исследования; отсутствие добровольного медицинского согласия; инфекционные, онкологические заболевания на момент исследования.

Исследование проведено на базе лаборатории кафедры биологии с курсом медицинской генетики ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, где имеется соответствующее оборудование. Разрешение получено этическим комитетом ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол №111 от 14.09.2022).

Для определения уровня МДА использовалась методика, основанная на определении МДА по реакции с тиобарбитуровой кислотой [13]. ССЭ устанавливали в соответствии с методикой образования окрашенного комплекса с метиленовой синью Тогайбаева А. А. в модификации Копытовой Т. В. [14]. Статистическая обработка осуществлялась с помощью языка статистического программирования Python (v. 3.13.3). Расчеты проводились в программе Visual Studio Code (v. 1.101.0). Количественные переменные описаны медианой выборки и выборочными квартилями (Me (Q1-Q3)). Все количественные показатели проверялись на подчинение закону Гаусса с помощью теста Шапиро-Уилка, осуществлялась оценка однородности дисперсий с помощью теста Левена. Парные сравнения проводились с помощью теста Данна с поправкой Холма. В случае ненормального распределения статистически значимые различия рассчитывались с помощью теста Краскела-Уолиса и U-тест Манна-Уитни. Статистически значимыми признаны показатели при уровне значимости менее 0,05 ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Осуществлено исследование крови исследуемых групп лиц, определены показатели уровня МДА и ССЭ. Данные сопоставлены с результатами контрольной группы и представлены в виде графика (рис. 1).

Выявлены существенные изменения в показателях ЭИ – уровне ССЭ и ОС – уровне МДА относительно контрольной группы в сторону увеличения, что свидетельствует о развитии

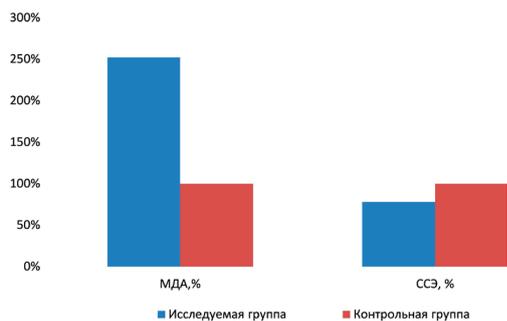


Рис.1. График сравнения показателей ССЭ и уровня МДА в исследуемой и контрольной группах.

Fig.1. Graph of the comparison of SCE and MDA levels in the study and control groups.

типовых патобиохимических процессов у наблюдаемых пациентов на фоне аллергической реакции. Установлено, уровень МДА в крови исследуемой группы в среднем в 2,52 раза превышает показатели контрольной группы. При этом ССЭ в исследуемой группе снижается в 1,29 раз относительно показателей здоровых доноров, что может быть проявлением повышенной плотности клеточных мембран эритроцитов при развитии АЗ.

При разделении исследуемой группы на подгруппы в зависимости от формы заболевания и при сопоставлении показателей между собой, в том числе и с контрольной группой, были получены индивидуальные результаты, которые представлены в виде таблицы (таблица).

Таблица. Показатели уровня МДА и ССЭ контрольной группы и исследуемых подгрупп.
Table. Indicators of the level of MDA and SCE of the control group and the studied subgroups.

	Исследуемая группа (n=128)			Контрольная группа (n=114)
	Поллиноз (n=78)	БА (n=13)	Поллиноз +БА (n=37)	
МДА (мкМоль/л)	23,34 (12,04; 32,58)***			9,27 (5,11; 16,78)
	25,14 (14,24; 33,21)***	18,90 (7,26; 37,09)*	18,54 (11,71; 26,23)***	
ССЭ (усл. ед.)	37,55 (29,70; 50,80)***			48,44 (39,93; 58,29)
	35,33 (29,57; 47,56)***\$	41,67 (27,19; 48,90)	45,00 (32,00; 65,84)	

Примечание: * - различия между группой исследования и контрольной группой при $p < 0,05$ (** - при $p < 0,01$, ***- при $p < 0,001$); \$ - различия между подгруппой лиц с поллинозом и подгруппой поллиноз+БА при $p < 0,05$ (\$\$ - при $p < 0,01$, \$\$\$ - при $p < 0,001$).

Note: * - differences between the study group and the control group at $p < 0.05$ (** - at $p < 0.01$, *** - at $p < 0.001$); \$ - differences between the subgroup of people with hay fever and the subgroup of hay fever+BA at $p < 0.05$ (\$\$ - at $p < 0.01$, \$\$\$ - at $p < 0.001$).

Показатели уровня МДА и ССЭ исследуемой группы пациентов с АЗ имеют статистически достоверные различия относительно группы контроля ($p < 0,001$). При анализе подгрупп также установлены статистически значимые изменения изучаемых показателей. Так в подгруппе лиц, страдающих поллинозом без отягощения БА, отмечается повышение уровня МДА в 2,71 раза, а с отягощением в виде БА – 2,00 раз относительно контрольной группы ($p < 0,001$), что может быть объяснено приёмом лекарств антиоксидантной направленности у пациентов с БА. При исследовании коморбидной формы данной патологии (поллиноз+БА) отмечается превышение уровня МДА в 2,04 раза относительно здоровых лиц ($p < 0,01$). Во всех наблюдаемых подгруппах пациентов наблюдается снижение показателей ССЭ относительно контрольной группы. В подгруппе лиц с поллинозом наблюдается статистически значимое снижение ССЭ в 1,37 раз относительно

контрольной группы ($p < 0,001$), а также в 1,27 раз относительно лиц с коморбидной формой заболевания (поллиноз+БА) ($p < 0,01$). Статистически достоверных результатов подгруппы БА и коморбидной формы (поллиноз+БА) относительно контрольной группы не было выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

При сопоставлении полученных показателей выявлено значительное повышение в крови ключевого маркера ПОЛ – МДА, что говорит о выраженном ОС в организме наблюдаемых пациентов. Это повышение наиболее выражено у пациентов с изолированным поллинозом (2,71 раза). Присоединение БА к поллинозу (подгруппа «поллиноз+БА») также приводит к значимому повышению МДА (2,04 раза), однако оно статистически меньше, чем при изолированном поллинозе. Это указывает на то, что наличие БА как сопутствующего заболевания несколько

модифицирует выраженность ОС, измеряемого по МДА, хотя он все равно остается высоким. На фоне повышения уровня МДА наблюдается снижение ССЭ относительно здоровых лиц, что говорит о развитии ЭИ в организме больных. Статистически значимое снижение ССЭ в подгруппе пациентов с изолированным поллинозом в 1,37 раза относительно контроля и в 1,27 раза относительно подгруппы «поллиноз+БА» указывает на нарушение структурно-функциональных свойств мембран эритроцитов при этой форме патологии. ССЭ отражает способность мембран связывать вещества и ее снижение может быть следствием окислительной модификации липидов, а также белков мембраны под действием АФК. Результаты исследования совпадают с ранее опубликованными данными об изменении изучаемых показателей при ОС и ЭИ [8-12]. Важно отметить, что отсутствие статистически значимого снижения ССЭ в подгруппах с коморбидной патологией (поллиноз+БА), а также изолированной БА по сравнению с контролем и изолированным поллинозом, несмотря на наличие значимого ОС (повышенный уровень МДА) позволяет предположить, что при данном течении АЗ, которое имеет хронический характер, ОС отражается на клеточных структурах других органов и систем (в частности сердечно-сосудистой и дыхательных систем), а эритроциты адаптируются к этому состоянию на фоне корригирующей терапии и изменения образа жизни. Это подтверждает факт активизации защитно-адаптационных систем организма при длительно текущих МФЗ, вследствие этого организм пациентов с коморбидной патологией может запускать компенсаторные механизмы, защищающие мембраны эритроцитов, что в дальнейшем предстоит исследовать более подробно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выявило важные различия в проявлениях ОС при разных формах поллиноза среди лиц, проживающих в одном из самых аллергенных регионов страны – Краснодарском крае. Изолированный поллиноз характеризуется статистически достоверными наиболее интенсивными реакциями ПОЛ (высокий уровень МДА) и специфической трансформацией мембран эритроцитов (снижение ССЭ), важно также отметить, что наличие коморбидной формы поллиноза с БА, а также изолированной БА, ассоциируется с менее выраженным повышением МДА и меньшим снижением ССЭ. Это может указывать на возможные различные патогенетические механизмы повреждения клеток при данных состояниях и разной степени выраженности уровня ОС и ЭИ у описываемой груп-

пы пациентов, что требует дальнейшего изучения и индивидуальных подходов к терапии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors have no conflict of interests to declare.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлюченко И. И., Клименко Я. В., Прозоровская Ю. И. Полиморфизм генов факторов систем антиоксидантной защиты, биотрансформации ксенобиотиков и иммунной регуляции при аллергических заболеваниях: обзорное исследование «случай-контроль». Кубанский научный медицинский вестник. 2024;31(6):28-39. doi:10.25207/1608-6228-2024-31-6-28-39.
2. Falcon R. M. G., Caoili S. E. C. Immunologic, genetic, and ecological interplay of factors involved in allergic diseases. *Front Allergy*. 2023;4:1215616. doi:10.3389/falgy.2023.1215616.
3. Kruk J., Aboul-Enein B. H., Duchnik E., Marchlewicz M. Antioxidative properties of phenolic compounds and their effect on oxidative stress induced by severe physical exercise. *J Physiol Sci*. 2022;72(1):19. doi:10.1186/s12576-022-00845-1.
4. Пашина Е. В., Золотавина М. Л. Комплекс биохимических показателей в оценке формирования стадий эндогенной интоксикации в клетке. *Современные проблемы науки и образования*. 2019. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29437>. (Дата обращения: 06.08.2025).
5. Шлапакова Т. И., Костин Р. К., Тягунова Е. Е. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии. *Биоорганическая химия*. 2020;46(5):466-485. doi:10.31857/S013234232005022X.
6. Golubeva O. Y., Alikina Y. A., Brazovskaya E. Y. Particles Morphology Impact on Cytotoxicity, Hemolytic Activity and Sorption Properties of Porous Aluminosilicates of Kaolinite Group. *Nanomaterials (Basel)*. 2022;12(15):2559. doi:10.3390/nano12152559
7. Павлюченко И. И., Дынько Ю. В., Басов А. А., Федосов С. Р., Нагорнин М. Ю., Павлюченко Е. В. Сорбционная способность эритроцитов и ПОЛ у различных категорий больных с синдромом эндогенной интоксикации. *Вопросы анестезиологии и интенсивной терапии : материалы юбил. науч. сессии*. Краснодар. 2001:56-60.
8. Федосеев Е. Н., Шаповалова О. О., Шамрова Е. А. Экспериментальное исследование сорбционных свойств эритроцитов. *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2019;1:71-75.
9. Лаврентьев А. А., Попов П. А., Белобородова Л. Л., Бродская Л. В., Черных С. В., Быкова С. В. Маркеры эндотоксикоза: исследование структурных свойств эритроцитов. *Науч-*

но-медицинский вестник Центрального Черноземья. 2006;25. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/>. (Дата обращения: 06.08.2025).

10. Linchen H., Xiaoxing C., Zhen L., Yanbo T., Karoline K. B., Norris C., Lin F., Lili L., Qian W., Xiaojian Zh., Jianguo H., Feng L., Yinping Zh., James J. S., Marilyn B., Michael H. Bergin, Junfeng J. Zh. *Environmental Science & Technology*. 2020;54(18):11405-11413. doi:10.1021/acs.est.0c02558.

11. Abboud M. M., Al-Rawashde F. A., Al-Zayadneh E. M. Alterations of serum and saliva oxidative markers in patients with bronchial asthma. *J Asthma*. 2022;59(11):2154-2161. doi:10.1080/02770903.2021.2008426.

12. Zanjani B. N., Samadi A., Isikhan S. Y., Lay I., Beyaz S., Gelincik A., Buyukozturk S., Arda N. Plasma levels of oxysterols 7-ketocholesterol and cholestane-3 β , 5 α , 6 β -triol in patients with allergic asthma. *J Asthma*. 2023;60(2):288-297. doi:10.1080/02770903.2022.2045310.

13. Стальная И. Д., Гаришвили Т. Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кислоты. *Современные методы в биохимии*. М.: Медицина. 1977;37:66-68.

14. Копытова Т. В. Исследование сорбционной емкости мембран эритроцитов для оценки характера эндогенной интоксикации при дерматозах. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2006;1:18-19.

REFERENCES

1. Pavlyuchenko I. I., Klimenko Ya. V., Prozorovskaya Yu. I. Polymorphism of genes of factors of antioxidant protection systems, biotransformation of xenobiotics and immune regulation in allergic diseases: an observational case-control study. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2024;31(6):28-39. (In Russ.). doi:10.25207/1608-6228-2024-31-6-28-39.

2. Falcon R. M. G., Caoili S. E. C. Immunologic, genetic, and ecological interplay of factors involved in allergic diseases. *Front Allergy*. 2023;4:1215616. doi:10.3389/falgy.2023.1215616.

3. Kruk J., Aboul-Enein B. H., Duchnik E., Marchlewicz M. Antioxidative properties of phenolic compounds and their effect on oxidative stress induced by severe physical exercise. *J Physiol Sci*. 2022;72(1):19. doi:10.1186/s12576-022-00845-1.

4. Pashina E. V., Zolotavina M. L. A complex of biochemical parameters in assessing the formation of stages of endogenous intoxication in a cell. *Modern problems of science and education*. 2019;6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29437>. (Accessed June 8, 2025). (In Russ.).

5. Shlapakova T. I., Kostin R. K., Tyagunova E. E. Reactive oxygen species: involvement in cellular processes and the development of pathology. *Bioorganic chemistry*. 2020;46(5):466-485. (In Russ.). doi:10.31857/S013234232005022X.

6. Golubeva O. Y., Alikina Y. A., Brazovskaya E. Y. Particles Morphology Impact on Cytotoxicity, Hemolytic Activity and Sorption Properties of Porous Aluminosilicates of Kaolinite Group. *Nanomaterials (Basel)*. 2022;12(15):2559. doi:10.3390/nano12152559.

7. Pavlyuchenko I. I., Dynko Yu. V., Basov A. A., Fedosov S. R., Nagornin M. Yu., Pavlyuchenko E. V. Erythrocyte sorption capacity and SEX in various categories of patients with endogenous intoxication syndrome. *Issues of anesthesiology and intensive care : materials of the jubilee. Scientific sessions*. Krasnodar. 2001:56-60. (In Russ.).

8. Fedoseev E. N., Shapovalova O. O., Shamrova E. A. Experimental study of the sorption properties of erythrocytes. *Scientific review. Medical sciences*. 2019;1:71-75. (In Russ.).

9. Lavrentiev A. A., Popov P. A., Beloborodova L. L., Brodskaya L. V., Chernykh S. V., Bykova S. V. Markers of endotoxigenesis: a study of the structural properties of erythrocytes. *Scientific and Medical Bulletin of the Central Chernozem region*. 2006;25. URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/> (Accessed June 8, 2025). (In Russ.).

10. Linchen H., Xiaoxing C., Zhen L., Yanbo T., Karoline K. B., Norris C., Lin F., Lili L., Qian W., Xiaojian Zh., Jianguo H., Feng L., Yinping Zh., James J. S., Marilyn B., Michael H. Bergin, Junfeng J. Zh. *Environmental Science & Technology*. 2020;54(18):11405-11413. doi:10.1021/acs.est.0c02558.

11. Abboud M. M., Al-Rawashde F. A., Al-Zayadneh E. M. Alterations of serum and saliva oxidative markers in patients with bronchial asthma. *J Asthma*. 2022;59(11):2154-2161. doi:10.1080/02770903.2021.2008426.

12. Zanjani B. N., Samadi A., Isikhan S. Y., Lay I., Beyaz S., Gelincik A., Buyukozturk S., Arda N. Plasma levels of oxysterols 7-ketocholesterol and cholestane-3 β , 5 α , 6 β -triol in patients with allergic asthma. *J Asthma*. 2023;60(2):288-297. doi:10.1080/02770903.2022.2045310.

13. Stalnaya I. D., Garishvili T. G. Method for the determination of malonic dialdehyde using thiobarbituric acid. *Modern methods in biochemistry*. M.: Medicine. 1977;37: 66-68. (In Russ.).

14. Kopytova T. V. Investigation of the sorption capacity of erythrocyte membranes to assess the nature of endogenous intoxication in dermatoses. *Clinical laboratory diagnostics*. 2006;1:18-19. (In Russ.).