

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco105578>

Параметры карбонильного стресса и окислительная модификация ДНК при возрастной менопаузе у женщин русской и бурятской этнических групп

Н.В. Семёнова, А.С. Бричагина, О.А. Никитина, И.М. Мадаева,
С.И. Колесников, Л.И. Колесникова

Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека, Иркутск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Менопауза является фактором риска развития окислительного стресса. Результаты, свидетельствующие об этноспецифичности течения процессов липопероксидации, позволяют предположить различия в метаболизме женщин разных этносов, что связано с окислением не только липидов, но и белков и ДНК.

Цель. Определить содержание продуктов окисления белков, конечных продуктов гликирования и окислительной модификации ДНК в крови у женщин русской и бурятской этнических групп в пери- и постменопаузе.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 86 женщин-добровольцев двух этнических групп — русские ($n=52$) и буряты ($n=34$) — в возрасте от 45 до 60 лет, имеющих пери- и постменопаузальный статус. Основания исключения: применение заместительной гормонотерапии, применение препаратов антиоксидантного ряда, заболевания эндокринного генеза, обострение хронических заболеваний, преждевременная ранняя менопауза, хирургическая менопауза. Концентрацию 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина (нг/мл) и конечных продуктов гликирования (AGEs, нг/мл) определяли в сыворотке крови иммуноферментным методом, содержание продуктов окисления белков (AOPP, нмоль/л) — в плазме крови фотометрическим методом.

Результаты. Выявлено повышение содержания AOPP в постменопаузе по сравнению с перименопаузой у женщин обеих этнических групп: 36,90 [27,09; 42,72] и 19,80 [17,03; 23,78] в русской этнической группе соответственно ($p < 0,001$) и 31,16 [29,45; 33,99] и 26,30 [23,44; 30,91] в бурятской этнической группе соответственно ($p=0,020$). Независимо от фазы менопаузы у женщин бурятского этноса по сравнению с представительницами русской этногруппы выявлено более высокое содержание AGEs (5015,0 [4584,49; 5486,96] и 3685,87 [3376,11; 4318,0] в перименопаузе ($p=0,002$) и 4970 [4710; 5660] и 4274,59 [3440,67; 4813,05] в постменопаузе ($p=0,040$)), а также 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина (1,58 [0,66; 4,36] и 0,82 [0,42; 1,09] в перименопаузе ($p=0,032$) и 1,52 [1,06; 4,21] и 0,85 [0,49; 1,34] в постменопаузе ($p=0,018$)). Более высокая концентрация AOPP была установлена только в перименопаузальном периоде у женщин бурятского этноса.

Заключение. Окисление белков зависит от фазы менопаузы и более выражено в постменопаузе; у женщин бурятского этноса в сравнении с русской этнической группой выше содержание маркёров карбонильного стресса и деструкции ДНК.

Ключевые слова: карбонильный стресс; деструкция ДНК; окисление белков; гликирование; менопауза; этнос.

Как цитировать:

Семёнова Н.В., Бричагина А.С., Никитина О.А., Мадаева И.М., Колесников С.И., Колесникова Л.И. Параметры карбонильного стресса и окислительная модификация ДНК при возрастной менопаузе у женщин русской и бурятской этнических групп // Экология человека. Т. 29, № 6. С. 415–423.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco105578>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco105578>

Carbonil stress parameters and DNA oxidative modification in Russian and Buryat women with age-related menopause

Natalya V. Semenova, Anastasia S. Brichagina, Olga A. Nikitina, Irina M. Madaeva, Sergey I. Kolesnikov, Lyubov I. Kolesnikova

Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems, Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Menopause is a risk factor for oxidative stress. Previous study results indicate the lipid peroxidation ethnospecificity, suggesting differences in the metabolism of different ethnic groups of women, associated with the oxidation of not only lipids but proteins and DNA.

AIM: To determine advanced oxidation protein products (AOPP), advanced glycation end products (AGEs), and DNA oxidative modification levels in the blood of Russian and Buryat peri- and postmenopausal women.

MATERIAL AND METHODS: The study involved 86 women of two ethnic groups — Russians ($n=52$) and Buryats ($n=34$) — aged 45 to 60 years with peri- and postmenopausal status, which participated as volunteers. The basis for the exclusion in this study was the use of hormone replacement therapy, antioxidant drugs, diseases of endocrine origin, exacerbation of chronic diseases, premature early menopause, and surgical menopause. The concentration of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (ng/ml) and AGEs (ng/ml) was determined in blood serum by enzyme immunoassay. The content of AOPP (nmol/l) was determined in blood plasma using the photometric method.

RESULTS: An increase of AOPP levels in postmenopause as compared to perimenopause was found in women of both ethnic groups (36.90 [27.09; 42.72] and 19.80 [17.03; 23.78] in the Russian ethnic group ($p < 0.001$) and 31.16 [29.45; 33.99] and 26.30 [23.44; 30.91] in the Buryat ethnic group ($p=0.020$). Regardless of the menopausal phase, the AGEs levels in Buryat women were higher than the Russian ethnic group: (5015.0 [4584.49; 5486.96] and 3685.87 [3376.11; 4318.0] in perimenopause ($p=0.002$) and 4970 [4710; 5660] and 4274.59 [3440.67; 4813.05] in postmenopause ($p=0.040$)) and 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (1.58 [0.66; 4.36] and 0.82 [0.42; 1.09] in perimenopause ($p=0.032$) and 1.52 [1.06; 4.21] and 0.85 [0.49; 1.34] in postmenopause ($p=0.018$)). Differences in the AOPP level were revealed only in the perimenopause toward a higher level in Buryat women.

CONCLUSION: Protein oxidation depends on the menopausal phase and is more pronounced in postmenopausal women. The carbonyl stress parameters and DNA destruction levels are higher in Buryat women than Russian ethnic group.

Keywords: carbonyl stress; DNA destruction; protein oxidation; glycation; menopause; ethnos.

To cite this article:

Semenova NV, Brichagina AS, Nikitina OA, Madaeva IM, Kolesnikov SI, Kolesnikova LI. Carbonil stress parameters and DNA oxidative modification in Russian and Buryat women with age-related menopause. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(6):415–423. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco105578>

Received: 29.03.2022

Accepted: 16.06.2022

Published online: 13.07.2022

ВВЕДЕНИЕ

Возрастные нейроэндокринные изменения у женщин, в частности эстрогендефицит, свидетельствуют о начале менопаузального периода. Наступившая после 45 лет менопауза является возрастной физиологической и состоит из пери- и постменопаузы [1]. Возрастной дефицит половых стероидов рассматривают в качестве одной из основных причин развития метаболических нарушений, включая окислительный стресс, в данном периоде жизни [2, 3].

Под окислительным стрессом подразумевается состояние, при котором на фоне снижения активности антиоксидантной системы увеличивается окислительная нагрузка на организм, что приводит к окислительному повреждению молекулярных и клеточных структур и накоплению карбонильных продуктов окисления. В свою очередь избыток карбонильных производных формирует карбонильный стресс, способный оказывать деструктивное влияние на ДНК посредством её окислительной модификации, что определяет его важную роль в патогенезе различных заболеваний. Кроме того, известно, что в процессах старения значительную роль играют конечные продукты гликирования, образованные в результате взаимодействия углеводов с белками, липидами и нуклеиновыми кислотами [4, 5]. Актуальность изучения карбонильного стресса и путей детоксикации карбонильных продуктов в период менопаузы, а также участия половых стероидов в развитии карбонильного стресса определяется прежде всего необходимостью разработки профилактических мероприятий, способных предотвратить развитие различных патологических процессов в данном возрастном периоде.

К настоящему времени появляется всё больше данных, свидетельствующих о различиях течения процессов свободнорадикального окисления и состояния антиоксидантной системы как у здоровых людей [6, 7], так и при различных патологиях [8–10]. Кроме того, более раннее исследование с участием женщин русской и бурятской этнических групп в менопаузе [11] показало различия по параметрам процессов липопероксидации и некоторым показателям антиоксидантной системы в зависимости от фазы менопаузы, хотя различий по параметрам липидного обмена выявлено не было [12]. С учётом этих данных, а также отсутствия результатов исследования карбонильного стресса у женщин разных этнических групп, имеющих менопаузальный статус, была сформирована цель данной работы.

Цель. Определить содержание продуктов окисления белков, конечных продуктов гликирования и окислительной модификации ДНК в крови у женщин русской и бурятской этнических групп в пери- и постменопаузе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование, соответствующее этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской

ассоциации (1964 год, последний пересмотр — Форталеза, Бразилия, 2013 год), проведено на базе Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (Иркутск) с участием 86 женщин-добровольцев европеоидной (этническая группа — русские ($n=52$)) и монголоидной (этническая группа — буряты ($n=34$)) рас в возрасте от 45 до 60 лет, проживающих в Иркутске и имеющих менопаузальный статус.

При формировании этнических групп учитывались генеалогический анамнез (представители, имеющие в двух поколениях родителей одной этнической группы) и самоидентификация с учётом элементов фенотипа. Каждая женщина подписала информированное согласие на участие в проводимом исследовании, протокол которого одобрен Комитетом по биомедицинской этике Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (протокол № 8 от 15.12.2016 г.).

После клинико-анамнестического обследования женщины были разделены на две группы: перименопауза и постменопауза. Отнесение в одну из групп климактерического периода осуществлялось согласно клиническим рекомендациям [13]. Таким образом, было сформировано 4 группы исследуемых:

- перименопауза, русская этническая группа ($n=21$, средний возраст — $48,0 \pm 2,81$ года, индекс массы тела (ИМТ) — $27,20 \pm 4,55$ кг/м²);
- постменопауза, русская этническая группа ($n=31$, средний возраст — $55,0 \pm 4,13$ года, ИМТ — $27,60 \pm 4,81$ кг/м²);
- перименопауза, бурятская этническая группа ($n=18$, средний возраст — $49,0 \pm 2,37$ года, ИМТ — $27,80 \pm 6,14$ кг/м²);
- постменопауза, бурятская этническая группа ($n=16$, средний возраст — $55,0 \pm 4,98$ года, ИМТ — $27,40 \pm 3,49$ кг/м²).

Основания для исключения женщин из исследования: применение заместительной гормонотерапии, применение препаратов антиоксидантного ряда, заболевания эндокринного генеза, обострение хронических заболеваний, преждевременная ранняя менопауза, хирургическая менопауза.

Для исследования использовали венозную кровь, забор которой проводили натощак с 8:00 до 9:00 ч в соответствии с общепринятыми требованиями. Кровь центрифугировали 10 мин при 1500 об./мин, отделяли плазму и сыворотку, которые хранили при -40° С до проведения исследования.

Концентрацию 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина определяли в сыворотке крови иммуноферментным анализом с использованием наборов ELISA Kit (Cloud-Clone Corp., США) на анализаторе ELx808 (BioTek Instruments Inc., США), единица измерения — нг/мл. Содержание продуктов окисления белков (advanced oxidation protein products, AOPP) определяли в плазме фотометрическим методом с использованием наборов ф. ImmunDiagnostik (Германия)

на спектрофотометре Multiskan GO (Thermo Scientific, Финляндия), единица измерения — нмоль/л. Содержание конечных продуктов гликирования (advanced glycation end-products, AGEs) определяли методом иммуноферментного анализа с использованием наборов ф. Cloud-Clone Corp. (США) на анализаторе ELx808 (BioTek Instruments Inc., США), единица измерения — нг/мл.

Полученные данные обрабатывали в программе Statistica 10.0. Близость к нормальному закону распределения количественных признаков оценивали визуально-графическим методом, а также критериями согласия Колмогорова–Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро–Уилка. Данные по возрасту, весу, росту и индексу массы тела имели распределение, близкое к нормальному, в связи с чем представлены в виде среднего арифметического \pm стандартное отклонение ($M \pm \sigma$). Показатели продуктов окисления белков, конечных продуктов гликирования и окислительной модификации ДНК имели распределение, отличное от нормального, в связи с чем представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха [Q1; Q3]. Анализ межгрупповых различий для независимых выборок проводили с использованием критерия Краскела–Уоллиса и медианного теста с последующими апостериорными сравнениями с помощью критерия Манна–Уитни. Критический уровень значимости — 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе сравнительного анализа концентрации маркеров карбонильного стресса и окислительной модификации ДНК между участницами исследования в разных

фазах менопаузы выявлено повышение содержания АОРП в постменопаузе по сравнению с перименопаузальным периодом у женщин обеих этнических групп: в русской этнической группе — 36,90 [27,09; 42,72] и 19,80 [17,03; 23,78] соответственно ($p < 0,001$) и в бурятской этнической группе — 31,16 [29,45; 33,99] и 26,30 [23,44; 30,91] соответственно ($p = 0,020$) (рис. 1).

Как в перименопаузальном, так и в постменопаузальном периоде у женщин бурятского этноса по сравнению с представительницами русской этногруппы выявлено более высокое содержание AGEs (5015,0 [4584,49; 5486,96] и 3685,87 [3376,11; 4318,0] соответственно в перименопаузе ($p = 0,002$) и 4970 [4710; 5660] и 4274,59 [3440,67; 4813,05] соответственно в постменопаузе ($p = 0,040$) (рис. 2)) и 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина (1,58 [0,66; 4,36] и 0,82 [0,42; 1,09] соответственно в перименопаузе ($p = 0,032$) и 1,52 [1,06; 4,21] и 0,85 [0,49; 1,34] соответственно в постменопаузе ($p = 0,018$) (рис. 3)). Содержание АОРП было выше только в перименопаузальном периоде у женщин бурятского этноса (26,30 [23,44; 30,91] ($p = 0,011$) (см. рис. 1)).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе настоящего исследования результаты свидетельствуют о накоплении АОРП при прогрессировании менопаузы независимо от этнической принадлежности, что может являться следствием повышения с возрастом концентрации хлорноватистой кислоты; активных форм кислорода, окисляющих остатки лизина, аргинина, пролина, треонина; взаимодействия карбонилсодержащих продуктов окисления липидов с аминокруппами

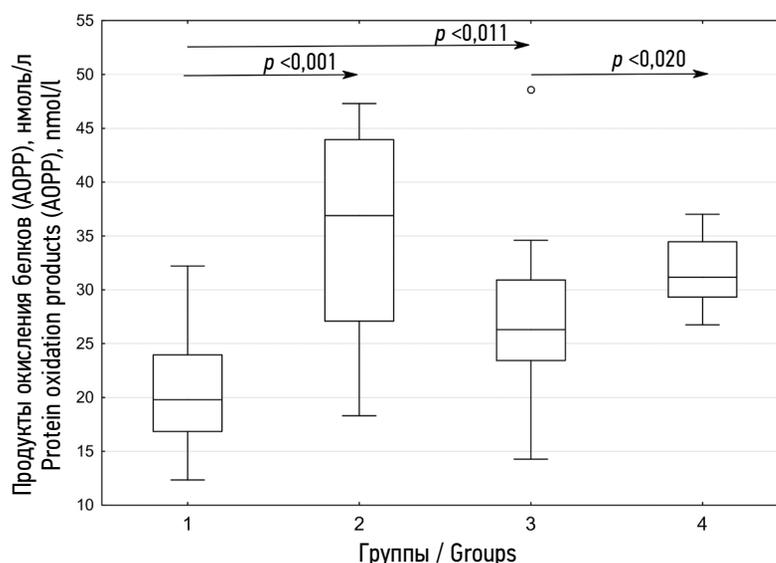


Рис. 1. Содержание продуктов окисления белков у женщин русской и бурятской этнических групп в пери- и постменопаузальном периодах.

1 — русская этническая группа, перименопауза; 2 — русская этническая группа, постменопауза; 3 — бурятская этническая группа, перименопауза; 4 — бурятская этническая группа, постменопауза.

Fig. 1. The protein oxidation products levels in Russian and Buryat peri- and postmenopausal women.

1 — Russian ethnic group, perimenopause; 2 — Russian ethnic group, postmenopause; 3 — Buryat ethnic group, perimenopause; 4 — Buryat ethnic group, postmenopause.

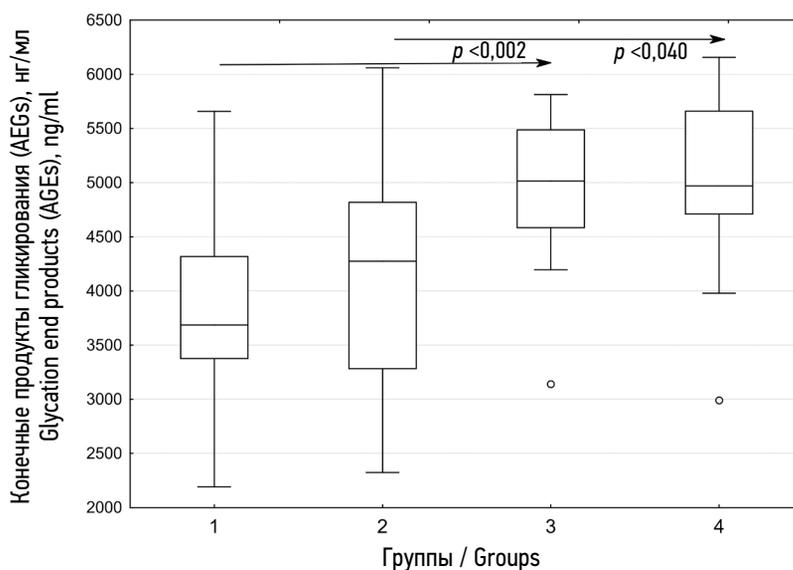


Рис. 2. Содержание конечных продуктов гликирования у женщин русской и бурятской этнических групп в пери- и постменопаузальном периодах. Обозначения см. на рис. 1.

Fig. 2. The advanced glycation end products levels in Russian and Buryat peri- and postmenopausal women. See designations in Fig. 1.

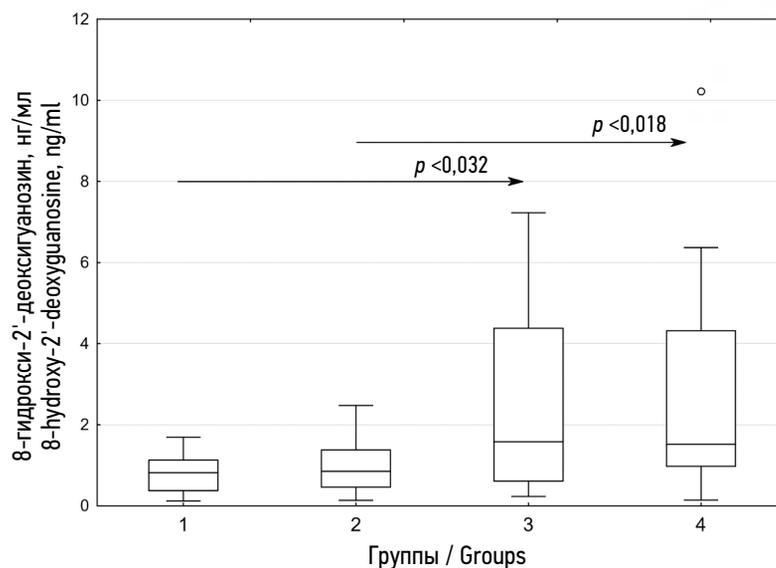


Рис. 3. Концентрация 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина у женщин русской и бурятской этнических групп в пери- и постменопаузальном периодах. Обозначения см. на рис. 1.

Fig. 3. The 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine levels in Russian and Buryat peri- and postmenopausal women. See designations in Fig. 1.

белков, приводящего к их окислительной модификации и деструкции [14, 15]. В качестве подтверждения последнего можно рассматривать результаты проведённого нами ранее исследования [11], свидетельствующие о снижении концентрации активных продуктов тиобарбитуровой кислоты (ТБК-АП), основной составляющей единицей которых является малоновый диальдегид, у женщин русского этноса в постменопаузе по сравнению с перименопаузальным периодом. При этом у представительниц бурятского этноса не было выявлено различий в концентрации ТБК-АП между менопаузальными фазами, в связи с чем можно предположить иные причины накопления в их организме модифицированных белков, например

галогенирующий стресс. Наши данные согласуются с результатами других исследований, свидетельствующими о повышении окислительной нагрузки в постменопаузе [16, 17], однако в представленных работах не определяли тяжесть климактерического синдрома, которая могла отразиться на интенсивности свободнорадикального окисления. В нашем исследовании у женщин обеих этнических групп не обнаружена тяжёлая степень климактерического синдрома, в перименопаузе преобладала лёгкая степень тяжести, в то время как в постменопаузе частота лёгкой и средней степени тяжести не различалась.

Несмотря на имеющиеся литературные данные о снижении интенсивности репарации ДНК с возрастом

[18, 19], нами не выявлено каких-либо значимых различий в содержании маркера окислительного повреждения генетического аппарата клетки — 8-гидрокси-2'-деоксигуанозина — между фазами менопаузы у представительниц обеих этнических групп, что может быть связано с отсутствием у них на момент обследования обострения хронических заболеваний, а также заболеваний эндокринного генеза, при которых интенсивность окислительной модификации ДНК повышается. Это может быть причиной отсутствия различий и в содержании AGEs, представляющих собой гетерогенные молекулы, образованные в ходе реакций углеводов с белками и липидами [20]. Кроме того, возраст участников исследования варьировал от 45 до 60 лет, что, возможно, недостаточно для получения значимых различий в содержании изучаемых показателей.

Однако нам удалось выявить межэтнические различия концентрации маркеров свободнорадикального окисления в сторону большего их содержания у представительниц бурятской этнической группы. Учитывая критерии исключения женщин из настоящего исследования, а также место проживания, можно сделать вывод о различиях в метаболизме русского и бурятского этноса, что может являться следствием характера питания, образа жизни, генетических характеристик. Известно, что содержание продуктов свободнорадикального окисления контролируется системой антиоксидантной защиты, активность которой генетически детерминирована [21]. При исследовании определённых полиморфных вариантов генов антиоксидантных ферментов в русской и бурятской популяциях показаны различия по полиморфизмам генов супероксиддисмутазы и каталазы (*Ala16Val* гена *SOD2* и *262C>T* гена *CAT*) [22, 23], что, возможно, в некоторой степени определяет полученные в настоящем исследовании результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты нашего исследования свидетельствуют об увеличении окислительной модификации белков по мере прогрессирования менопаузы, а также о различиях в метаболизме женщин русского и бурятского этноса, связанных с окислением белков, липидов и ДНК. Данная область исследования требует дальнейшего изучения для более полного представления о течении свободнорадикальных процессов в возрастном и этническом аспектах.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ/ ADDITIONAL INFORMATION

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение

исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределён следующим образом: Н.В. Семёнова — концепция и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных; А.С. Бричагина и О.А. Никитина — получение и анализ данных; И.М. Мадаева — анализ данных; С.И. Колесников — анализ и интерпретация данных; Л.И. Колесникова — окончательное утверждение присланной в редакцию рукописи.

Author's contribution. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the concept development, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

The largest contribution is distributed as follows: N.V. Semenova — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation; A.S. Brichagina and O.A. Nikitina — data acquisition and analysis; I.M. Madaeva — data analysis; S.I. Kolesnikov — data analysis and interpretation; L.I. Kolesnikova — the final approval of the manuscript sent to the editors.

Источники финансирования. Данная работа выполнена в рамках фундаментального научного исследования Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (№ 121022500180-6) с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Центр разработки прогрессивных персонализированных технологий здоровья» Научного центра проблем здоровья семьи и репродукции человека (г. Иркутск).

Публикация осуществлена при поддержке гранта, полученного Научно-исследовательским центром адаптации человека в Арктике, филиалом Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (НИЦ МБП КНЦ РАН) на тему "The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the Wellbeing of the Kola Sami", софинансируемого через сквозные фонды Международного арктического научного комитета (IASC) при участии Рабочих групп IASC: по социальным и гуманитарным вопросам (SHWG) и Международной научной инициативы в Российской Арктике (ISIRA).

Funding. This work was conducted within the fundamental scientific research of the Scientific Center for Family Health and Human Reproduction (No. 121022500180-6) using the equipment of the Common Use Center "Center for the Development of Advanced Personalized Health Technologies" of the Scientific Center for Family Health and Human Reproduction (Irkutsk).

The publication was supported by a grant received by the Research Center for Human Adaptation in the Arctic, a branch of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences on the subject "The contribution of reproductive health and the quality of the Arctic environment to the Wellbeing of the Kola Sami", cofinanced through the International Arctic Science Committee (IASC) through funds with the participation of the IASC Social and Humanitarian Working Groups (SHWG) and the International Science Initiative in the Russian Arctic (ISIRA).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lumsden M.A., Sassarini J. The evolution of the human menopause // *Climacteric*. 2019. Vol. 22, N 2. P. 111–116. doi: 10.1080/13697137.2018.1547701
- Cervellati C., Bergamini C.M. Oxidative damage and the pathogenesis of menopause related disturbances and diseases // *Clin Chem Lab Med*. 2016. Vol. 54, N 5. P. 739–753. doi: 10.1515/cclm-2015-0807
- Taleb-Belkadi O., Chaib H., Zemour L., et al. Lipid profile, inflammation, and oxidative status in peri- and postmenopausal women // *Gynecol Endocrinol*. 2016. Vol. 32, N 12. P. 982–985. doi: 10.1080/09513590.2016.1214257
- Hauck A.K., Huang Y., Hertzler A.V., Bernlohr D.A. Adipose oxidative stress and protein carbonylation // *J Biol Chem*. 2019. Vol. 294, N 4. P. 1083–1088. doi: 10.1074/jbc.R118.003214
- Semchyshyn H. Is carbonyl/AGE/RAGE stress a hallmark of the brain aging? // *Pflugers Arch*. 2021. Vol. 473, N 5. P. 723–734. doi: 10.1007/s00424-021-02529-y
- Колесникова Л.И., Даренская М.А., Долгих В.В., и др. Особенности процессов перекисного окисления липидов — антиоксидантной защиты в различных этнических группах Восточной Сибири // *Экология человека*. 2010. №2. С. 26–29.
- Lammertyn L., Mels C.M., Pieters M., et al. Ethnic-specific relationships between haemostatic and oxidative stress markers in black and white South Africans: the SABPA study // *Clin Exp Hypertens*. 2015. Vol. 37, N 6. P. 511–517. doi: 10.3109/10641963.2015.1013123
- Даренская М.А., Колесникова Л.И., Колесников С.И. Этнические аспекты метаболических реакций женщин при дисрегуляторной патологии. Москва : Издательство РАН, 2020. 186 с.
- Mokhaneli M.C., Fourie C.M., Botha S., Mels C.M. The association of oxidative stress with arterial compliance and vascular resistance in a bi-ethnic population: the SABPA study // *Free Radic Res*. 2016. Vol. 50, N 8. P. 920–928. doi: 10.1080/10715762.2016.1201816
- Morris A.A., Zhao L., Patel R.S., et al. Differences in systemic oxidative stress based on race and the metabolic syndrome: the morehouse and emory team up to eliminate health disparities (META-health) study // *Metab Syndr Relat Disord*. 2012. Vol. 10, N 4. P. 252–259. doi: 10.1089/met.2011.0117
- Семёнова Н.В., Мадаева И.М., Даренская М.А., Колесникова Л.И. Процессы липопероксидации и система антиоксидантной защиты у женщин в менопаузе в зависимости от этнической принадлежности // *Экология человека*. 2019. Т. 26, № 6. С. 30–38. doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-30-38
- Семёнова Н.В., Мадаева И.М., Даренская М.А., и др. Липидный профиль у женщин двух этнических групп в климактерическом периоде // *Acta Biomedica Scientifica*. 2018. Т. 3, № 3. С. 93–98. doi: 10.29413/ABS.2018-3.3.14
- Сухих Г.Т., Сметник В.П., Юренева С.В., и др. Менопауза и климактерическое состояние у женщин. Клинические рекомендации. Москва : Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии им. акад. В.И. Кулакова, 2016. 38 с.
- Панасенко О.М., Соколов А.В. Активные формы галогенов, галогенирующий стресс, его биомаркеры. Роль в развитии заболеваний человека // *Биорадикалы и антиоксиданты*. 2018. Т. 5, №3. С. 53–56.
- Gryszczyńska B., Formanowicz D., Budzyń M., et al. Advanced oxidation protein products and carbonylated proteins as biomarkers of oxidative stress in selected atherosclerosis-mediated diseases // *Biomed Res Int*. 2017. Vol. 4975264. doi: 10.1155/2017/4975264
- Cakir T., Goktas B., Mutlu M.F., et al. Advanced oxidation protein products and malondialdehyde — the new biological markers of oxidative stress — are elevated in postmenopausal women // *Ginekol Pol*. 2016. Vol. 87, N 5. P. 321–325. doi: 10.5603/GP.2016.0001
- Montoya-Estrada A., Velazquez-Yescas K.G., Veruete-Beddolla D.B., et al. Parameters of oxidative stress in reproductive and postmenopausal Mexican women // *Int J Environ Res Public Health*. 2020. Vol. 17, N 5. P. 1492. doi: 10.3390/ijerph17051492
- Luo J., Mills K., le Cessie S., Noordam R., van Heemst D. Ageing, age-related diseases and oxidative stress: what to do next? // *Ageing Res Rev*. 2020. Vol. 57. P. 100982. doi: 10.1016/j.arr.2019.100982
- Urbaniak S.K., Boguszewska K., Szewczuk M., Kaźmierczak-Barańska J., Karwowski B.T. 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine (8-oxodG) and 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) as a potential biomarker for gestational diabetes mellitus (GDM) development // *Molecules*. 2020. Vol. 25, N 1. P. 202. doi: 10.3390/molecules25010202
- Perrone A., Giovino A., Benny J., Martinelli F. Advanced glycation end products (AGEs): biochemistry, signaling, analytical methods, and epigenetic effects // *Oxid Med Cell Longev*. 2020. Vol. 2020. P. 3818196. doi: 10.1155/2020/3818196
- Колесникова Л.И., Баирова Т.А., Первушина О.А. Гены ферментов антиоксидантной системы // *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2013. Т. 68, № 12. С. 83–88.
- Bairova T.A., Kolesnikov S.I., Kolesnikova L.I., et al. Lipid peroxidation and mitochondrial superoxide dismutase-2 gene in adolescents with essential hypertension // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2014. Vol. 158, N 2. P. 181–184.
- Ershova O.A., Bairova T.A., Kolesnikov S.I., et al. Oxidative stress and catalase gene // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2016. Vol. 161, N 3. P. 400–403.

REFERENCES

- Lumsden MA, Sassarini J. The evolution of the human menopause. *Climacteric*. 2019;22(2):111–116. doi: 10.1080/13697137.2018.1547701
- Cervellati C, Bergamini CM. Oxidative damage and the pathogenesis of menopause related disturbances and diseases. *Clin Chem Lab Med*. 2016;54(5):739–753. doi: 10.1515/cclm-2015-0807

3. Taleb-Belkadi O, Chaib H, Zemour L, et al. Lipid profile, inflammation, and oxidative status in peri- and postmenopausal women. *Gynecol Endocrinol*. 2016;32(12):982–985. doi: 10.1080/09513590.2016.1214257
4. Hauck AK, Huang Y, Hertzell AV, Bernlohr DA. Adipose oxidative stress and protein carbonylation. *J Biol Chem*. 2019;294(4):1083–1088. doi: 10.1074/jbc.R118.003214
5. Semchyshyn H. Is carbonyl/AGE/RAGE stress a hallmark of the brain aging? *Pflugers Arch*. 2021;473(5):723–734. doi: 10.1007/s00424-021-02529-y
6. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Dolgikh VV, et al. Specific features of the processes of lipid peroxidation — antioxidant protection in various ethnic groups of East Sibirea. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2010;(2):26–29.
7. Lammertyn L, Mels CM, Pieters M, et al. Ethnic-specific relationships between haemostatic and oxidative stress markers in black and white South Africans: the SABPA study. *Clin Exp Hypertens*. 2015;37(6):511–517. doi: 10.3109/10641963.2015.1013123
8. Darenskaya MA, Kolesnikova LI, Kolesnikov SI. *Etnicheskie aspekty metabolicheskikh reakcij zhenshchin pri dizregulirovannoy patologii*. Moscow: Izdatel'stvo RAN; 2020. 186 p.
9. Mokhaneli MC, Fourie CM, Botha S, Mels CM. The association of oxidative stress with arterial compliance and vascular resistance in a bi-ethnic population: the SABPA study. *Free Radic Res*. 2016;50(8):920–928. doi: 10.1080/10715762.2016.1201816
10. Morris AA, Zhao L, Patel RS, et al. Differences in systemic oxidative stress based on race and the metabolic syndrome: the Morehouse and emory team up to eliminate health disparities (META-health) study. *Metab Syndr Relat Disord*. 2012;10(4):252–259. doi:10.1089/met.2011.0117
11. Semenova NV, Madaeva IM, Darenskaya MA, Kolesnikova LI. Lipid peroxidation and antioxidant defense system in menopausal women of different ethnic groups. *Ekologiya cheloveka (Human ecology)*. 2019;26(6):30–38. doi: 10.33396/1728-0869-2019-6-30-38
12. Semenova NV, Madaeva IM, Darenskaya MA, et al. Lipid profile in menopausal women of two ethnic groups. *Acta Biomedica Scientifica*. 2018;3(3):93–98. doi: 10.29413/ABS.2018-3.3.14
13. Suhiih GT, Smetnik VP, Yureneva SV, et al. *Menopause and menopause in women. Clinical guidelines*. Moscow: Nacional'nyj medicinskij issledovatel'skij centr akusherstva, ginekologii i perinatologii im. akad. V.I. Kulakova; 2016. 38 p.
14. Panasenko OM, Sokolov AV. Active forms of halogens, halogenating stress, its biomarkers. Role in the development of human diseases. *Bioradicals and antioxidants*. 2018;5(3):53–56.
15. Gryszyńska B, Formanowicz D, Budzyń M, et al. Advanced oxidation protein products and carbonylated proteins as biomarkers of oxidative stress in selected atherosclerosis-mediated diseases. *Biomed Res Int*. 2017;2017:4975264. doi: 10.1155/2017/4975264
16. Cakir T, Goktas B, Mutlu MF, et al. Advanced oxidation protein products and malondialdehyde — the new biological markers of oxidative stress — are elevated in postmenopausal women. *Ginekol Pol*. 2016;87(5):321–325. doi: 10.5603/GP.2016.0001
17. Montoya-Estrada A, Velázquez-Yescas KG, Veruete-Bedolla DB, et al. Parameters of oxidative stress in reproductive and postmenopausal mexican women. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(5):1492. doi: 10.3390/ijerph17051492
18. Luo J, Mills K, le Cessie S, Noordam R, van Heemst D. Ageing, age-related diseases and oxidative stress: what to do next? *Ageing Res Rev*. 2020;57:100982. doi:10.1016/j.arr.2019.100982
19. Urbaniak SK, Boguszewska K, Szewczuk M, Kaźmierczak-Barańska J, Karwowski BT. 8-oxo-7,8-dihydro-2'-deoxyguanosine (8-oxodG) and 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) as a potential biomarker for gestational diabetes mellitus (GDM) development. *Molecules*. 2020;25(1):202. doi: 10.3390/molecules25010202
20. Perrone A, Giovino A, Benny J, Martinelli F. Advanced glycation end products (AGEs): biochemistry, signaling, analytical methods, and epigenetic effects. *Oxid Med Cell Longev*. 2020;2020:3818196. doi: 10.1155/2020/3818196
21. Kolesnikova LI, Bairova TA, Pervushina OA. Genes of antioxidant enzymes. *Annals of the russian academy of medical sciences*. 2013;68(12):83–88.
22. Bairova TA, Kolesnikov SI, Kolesnikova LI, et al. Lipid peroxidation and mitochondrial superoxide dismutase-2 gene in adolescents with essential hypertension. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2014; 158(2):181–184.
23. Ershova OA, Bairova TA, Kolesnikov SI, et al. Oxidative stress and catalase gene. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2016;161(3):400–403.

ОБ АВТОРАХ

*Наталья Викторовна Семёнова,

д.б.н., ведущий научный сотрудник;
адрес: Россия, 664003, Иркутск, ул. Тимирязева, 16;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Анастасия Сергеевна Бричагина, аспирант,

младший научный сотрудник;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-4608>;
eLibrary SPIN: 4374-3460;
e-mail: tasi121212@mail.ru

Ольга Андреевна Никитина, к.б.н., научный сотрудник;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1926-9694>;
eLibrary SPIN: 1799-4973;
olga_tolpygina@mail.ru

AUTHORS INFO

*Natalya V. Semenova, Dr. Sci. (Biol.),

leader research associate;
address: 16, Timirjazeva street, 664003, Irkutsk, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6512-1335>;
eLibrary SPIN: 6606-0160;
e-mail: natkor_84@mail.ru

Anastasia S. Brichagina, PhD student,

junior research associate;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1055-4608>;
eLibrary SPIN: 4374-3460;
e-mail: tasi121212@mail.ru

Olga A. Nikitina, Cand. Sci. (Biol.), research associate;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1926-9694>;
eLibrary SPIN: 1799-4973;
e-mail: olga_tolpygina@mail.ru

Ирина Михайловна Мадаева, д.м.н.,
главный научный сотрудник;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-7260>;
eLibrary SPIN: 9869-7793;
e-mail: nightchild@mail.ru

Сергей Иванович Колесников, академик РАН, д.м.н.,
главный научный сотрудник;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2124-6328>;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: sikolesnikov2012@gmail.com

Любовь Ильинична Колесникова, академик РАН, д.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3354-2992>;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: kolesnikova20121@mail.ru

Irina M. Madaeva, Dr. Sci. (Med.), chief research associate;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3423-7260>;
eLibrary SPIN: 9869-7793;
e-mail: nightchild@mail.ru

Sergey I. Kolesnikov, academician of the Russian academy
of sciences, Dr. Sci. (Med.), chief research associate;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2124-6328>;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: sikolesnikov2012@gmail.com

Lyubov I. Kolesnikova, academician of the Russian academy
of sciences, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3354-2992>;
eLibrary SPIN: 1752-6695;
e-mail: kolesnikova20121@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author