

УДК 577:575:616.1(470.54)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНА *GPX4* С РАЗВИТИЕМ ОЖИРЕНИЯ У РАБОЧИХ ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Полянина Д.Д.¹, Берёза И.А.¹, Кикоть А.М.¹, Шаихова Д.Р.¹, Сутункова М.П.^{1,2}

¹ФБУН «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий» Роспотребнадзора, г. Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, Екатеринбург, Россия

Ожирение является одним из основных факторов риска развития сердечно-сосудистых патологий. Окислительный стресс оказывает прямое влияние на метаболизм липопротеидов. Ген *GPX4* кодирует один из ключевых ферментов антиоксидантной системы – глутатионпероксидазу 4, которая является главным барьером на пути перекисного окисления липидов. Одним из важных полиморфизмов данного гена является rs713041.

Цель исследования – изучить ассоциацию полиморфизма гена *GPX4* с показателем ИМТ у рабочих предприятия черной металлургии

Материалы и методы. Было обследовано 639 работников предприятия черной металлургии. Выборка поделена на группу сравнения из 165 человек, и основную группу из 474 человек. Для определения индекса массы тела (ИМТ) применялась инструментальная оценка роста и веса с дальнейшим расчетом по стандартной формуле. ДНК выделяли из периферической крови с помощью набора LumiPure, определение полиморфизма было проведено с помощью ПЦР в реальном времени. Для оценки полученных данных использовались критерии Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни в пакете программ Statistica 12.

Результаты. Анализ общей выборки выявил статистически значимые различия по доминантной модели наследования ($p=0,04$): наибольшие средние значения ИМТ были у группы с генотипом ТТ. При делении выборки по месту работы и применении кодоминантной модели также обнаружены значимые различия ($p=0,018$) в основной группе: средние значения ИМТ повышались с увеличением числа Т-аллелей. Доминантная модель также показала наибольшие значения ИМТ у носителей генотипа ТТ ($p=0,006$).

Ограничения исследования. Не были определены основные профессиональные вредные факторы. Отсутствуют данные о селеновом статусе и биомаркерах окислительного стресса, а также о факторах образа жизни (питание, физическая активность).

Заключение. В ходе исследования было установлено, что лица, работающие во вредных условиях труда и имеющие в генотипе Т-аллель полиморфизма гена *GPX4*, имели более высокие показатели ИМТ. Данные результаты можно использовать для выявления лиц группы риска и проведения своевременных профилактических мероприятий.

Ключевые слова: *GPX4*, глутатионпероксидаза, ИМТ, ожирение, работники металлургического комбината

Соблюдение этических стандартов: этическое одобрение исследования было получено от локального этического комитета Федерального бюджетного учреждения науки «Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий» Роспотребнадзора (протокол № 1 от 26.02.2021). Работа выполнялась в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (редакция 2013 г.).

Использование инструментов искусственного интеллекта: авторы заявляют, что при подготовке настоящей рукописи системы искусственного интеллекта не применялись.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Полянина Д.Д., Берёза И.А., Кикоть А.М., Шаихова Д.Р., Сутункова М.П. Взаимосвязь полиморфизма гена *GPX4* с развитием ожирения у рабочих предприятия черной металлургии. Медицина труда и экология человека. 2026; 1: 31-44.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10102>

Для корреспонденции: Дарья Дмитриевна Полянина, e-mail: polyaninadd@ymrc.ru

RELATIONSHIP BETWEEN *GPX4* GENE POLYMORPHISM AND OBESITY AMONG FERROUS METALLURGY WORKERS

Polianina D.D.¹, Bereza I.A.¹, Kikot A.M.¹, Shaikhova D.R.¹, Sutunkova M.P.^{1,2}

¹Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, Yekaterinburg, Russia

²Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russia

Obesity is one of the main risk factors for developing cardiovascular diseases. Oxidative stress has a direct effect on lipoprotein metabolism. The *GPX4* gene encodes glutathione peroxidase 4, one of the key enzymes of the antioxidant system, which is the main barrier to lipid peroxidation. One of the important polymorphisms of this gene is rs713041.

The purpose of the study was to study the association between *GPX4* gene polymorphism and the body mass index in workers of a ferrous metallurgy enterprise.

Materials and methods. The sample included 639 ferrous metallurgy male workers divided into the main and control groups of 474 blue-collar and 165 white-collar workers, respectively. Height and weight were measured to calculate the body mass index (BMI) using a standard formula. DNA was isolated from peripheral blood using a LumiPure kit, and polymorphism was determined using real-time PCR. The Kraskel-Wallis and Mann-Whitney tests were used for data analysis in Statistica 12.

Results. The analysis of the total sample revealed statistical differences in terms of the dominant pattern of inheritance ($p=0.04$) with the highest mean BMI observed in the group of TT genotype carriers. After dividing the sample by job and applying the codominance, significant differences ($p=0.018$) were also found in the main group as the mean BMI values increased with the number of T alleles. The dominant pattern also showed the highest BMI values in carriers of the TT genotype ($p=0.006$).

Study limitations. The main occupational hazards were not established. No data on selenium status, biomarkers of oxidative stress, and lifestyle factors (nutrition, physical activity).

Conclusions. Workers exposed to occupational hazards and having the *GPX4* T allele in their genotype have higher BMI values. This finding can be used to identify individuals at risk and implement timely preventive measures.

Keywords: GPX4, glutathione peroxidase, BMI, obesity, metallurgy workers

Compliance with ethical standards: Ethics approval was provided by the Local Ethics Committee of the Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers (protocol No. 1 of February 2, 2021). The study was conducted in accordance with the ethical principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki (2013).

Declaration of AI use: The authors declare that no artificial intelligence tools were used in the preparation of this manuscript.

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

Funding: The study did not have sponsorship.

For citation: Polianina D.D., Bereza I.A., Kikot A.M., Shaikhova D.R., Sutunkova M.P. Relationship between GPX4 gene polymorphism and obesity among ferrous metallurgy workers. *Occupational Health and Human Ecology*. 2026; 1:31-44.

doi: <http://dx.doi.org/10.24412/2411-3794-2026-10102>

For correspondence: Daria D. Polianina, e-mail: polyaninadd@ymrc.ru

Ожирение является одним из основных факторов риска развития сердечно-сосудистых патологий, которые являются одной из основных причин смертности лиц трудоспособного возраста. Результаты обследования рабочих одного из предприятий черной металлургии, демонстрируют высокую распространённость ожирения среди изученного контингента, что вместе с вредными условиями труда на местах работы может оказывать еще более негативные эффекты на состояние их здоровья [1].

Вредные производственные факторы, характерные для черной металлургии, включают в себя воздействие ксенобиотиков, которые индуцируют окислительный стресс и способствуют ухудшению состояния здоровья рабочих [2]. Окислительный стресс оказывает прямое влияние на метаболизм липопротеидов [3]. В сочетании со снижением активности антиоксидантных ферментов это ведет к повышенному риску развития атеросклероза, раннего появления сердечно-сосудистых заболеваний, усиленной инсулинорезистентности и прогрессированию неалкогольной жировой болезни печени [4].

Ген *GPX4* кодирует один из ключевых и уникальных ферментов антиоксидантной системы – глутатионпероксидазу 4. В отличие от других ферментов GPX, GPX4 способен восстанавливать не только растворимые гидропероксиды (включая H_2O_2), но и сложные гидропероксиды фосфолипидов, встроенные в клеточные мембраны и липопотеины низкой плотности (ЛПНП) [5]. Эта особенность делает GPX4 главным барьером на пути перекисного окисления липидов (ПОЛ), которое ведет к разрушению клеточных мембран. При снижении активности GPX4 клетка теряет способность эффективно прерывать цепь ПОЛ [6].

Цель работы – изучить ассоциацию полиморфизма гена *GPX4* с показателем ИМТ у рабочих предприятия черной металлургии

Материалы и методы. Было обследовано 639 человек, мужчины, работники предприятия черной металлургии в возрасте от 30 до 59 лет (средний возраст $45,18 \pm 7,34$ года).

В исследование включали работников на основании следующих критериев:

- мужской пол;
- общий стаж работы более 5 лет;
- отсутствие профессиональных заболеваний;
- отсутствие обострения хронических заболеваний.

Выборка поделена на две группы – группа сравнения (административно-управленческий персонал (АУП) – офисные работники, не подвергающиеся вредному воздействию производства), состоящая из 165 человек, и основная группа (конвертерный цех (КЦ) – работники конвертерного цеха, подвергающиеся воздействию вредных производственных факторов), состоящая из 474 человек.

Основную группу составили сотрудники со следующими профессиями: ремонтник, мастер участка, газовщик, шлаковщик, миксеровщик, ковшевой, огнеупорщик, сталевар конвертера, подручный сталевара конвертера, сталевар установки внепечной обработки стали, подручный сталевара установки внепечной обработки стали, разливщик стали, оператор машины литья заготовок, оператор загрузки конвертера, машинист крана металлургического производства, машинист дистрибутора и машинист-транспортировщик горячего металла.

Для определения индекса массы тела (ИМТ) применялась инструментальная оценка роста и веса с дальнейшим расчётом по стандартной формуле. Данные о

росте и весе пациентов были получены по результатам ПМО на базе ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП.

ДНК выделяли из периферической крови с помощью набора LumiPure (Lumiprobe, Россия). Определение полиморфизма было проведено с помощью ПЦР в реальном времени с использованием амплификатора Quant Studio 3 (Thermo Fisher Scientific, США) на готовом наборе реагентов. Для статистической обработки данных использовались критерии Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни в пакете программ Statistica 12. Для оценки полученных результатов использовались доминантная (СС+СТ/ТТ) и кодоминантная (СС/СТ/ТТ) модели наследования.

Результаты. По результатам анализа общей выборки были обнаружены статистически значимые различия ИМТ при сравнении по доминантной модели наследования ($p=0,04$), причём наибольшие средние значения ИМТ определялись у группы с полиморфным генотипом ТТ (см. Рисунок 1).

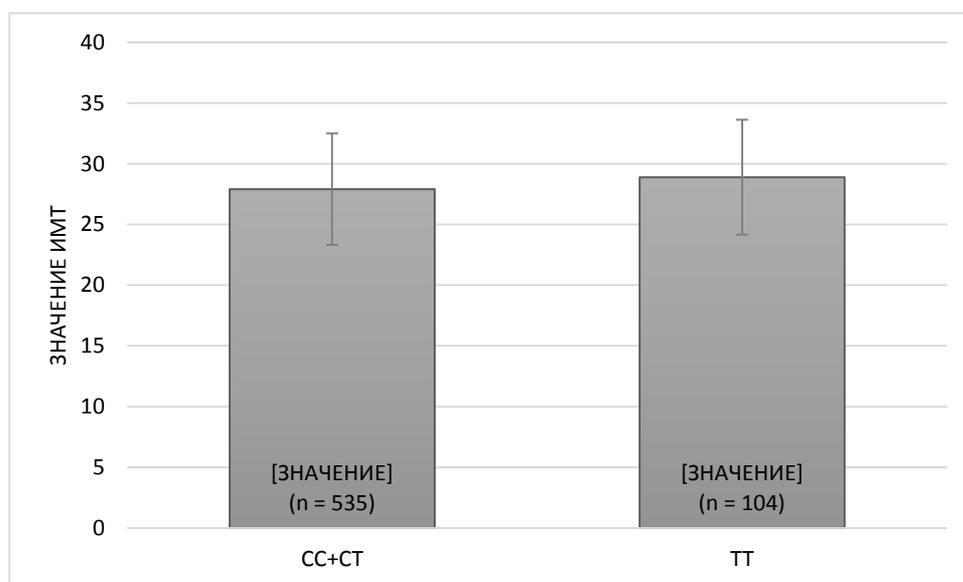


Рисунок 1. Средние значения ИМТ у носителей различных генотипов *GPX4* rs713041 в общей выборке. СС – дикий генотип; СТ и ТТ – мутантные генотипы. Используется доминантная модель наследования. По оси ординат представлены значения ИМТ. На графике указаны средние значения и количество пациентов в группе.

Figure 1. Mean BMI values in carriers of different *GPX4* rs713041 genotypes in the general sample. CC is the wild genotype; CT and TT are mutant genotypes. The dominant pattern of inheritance is used. The ordinate axis indicates BMI values while the bars show the means and the group size.

При анализе выборки с делением по группам по кодоминантной модели также были выявлены статистически значимые различия в основной группе с повышением средних значений ИМТ в зависимости от наличия одного или двух Т-аллелей в генотипе ($p=0,018$) (см. Рисунок 2). При этом в группе АУП не наблюдалось достоверных изменений ИМТ в зависимости от генотипа *GPX4* ($p=0,701$).

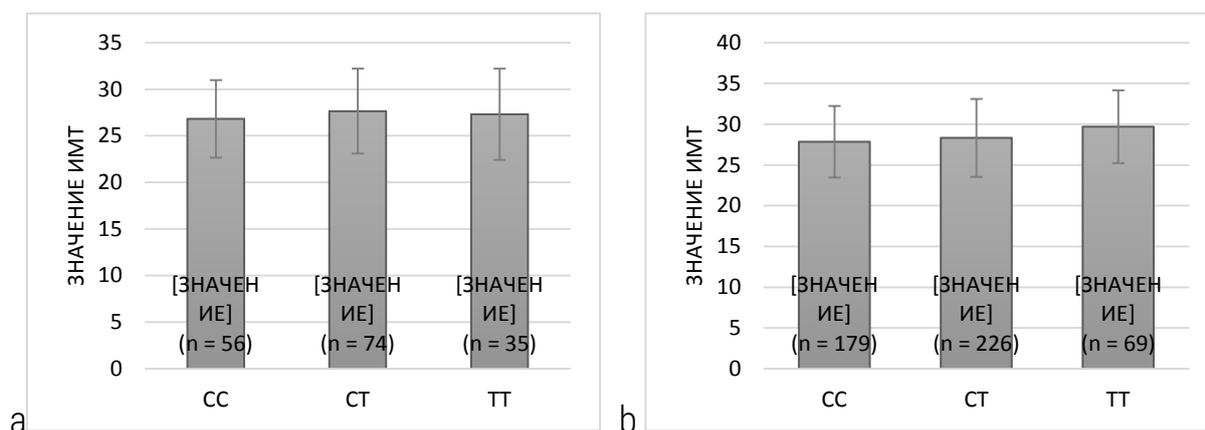


Рисунок 2. Средние значения ИМТ у носителей различных генотипов *GPX4* rs713041 в группах АУП (а) и КЦ (б). СС – дикий генотип; СТ и ТТ – мутантные генотипы. Используется кодоминантная модель наследования. По оси ординат представлены значения ИМТ. На графике указаны средние значения и количество пациентов в группе.

Figure 2. Mean BMI values in carriers of different *GPX4* rs713041 genotypes in the control (a) and case (b) groups. CC is the wild genotype; CT and TT are mutant genotypes. The codominance is used. The ordinate axis indicates BMI values while the bars show the means and the group size.

При сравнении данных с использованием доминантной модели также наибольшие значения ИМТ наблюдались в основной группе у носителей генотипа ТТ ($p=0,006$). В группе сравнения статистически значимых различий не обнаружено ($p=0,965$) (см. Рисунок 3).

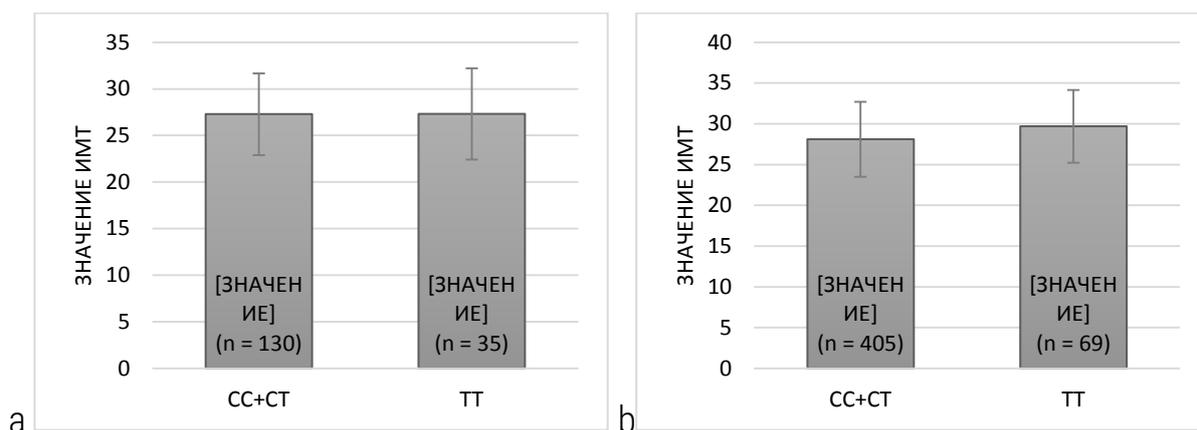


Рисунок 3. Средние значения ИМТ у носителей различных генотипов *GPX4* rs713041 в группах АУП (а) и КЦ (б). СС – дикий генотип; СТ и ТТ – мутантные генотипы. Используется кодоминантная модель наследования. По оси ординат представлены значения ИМТ. На графике указаны средние значения и количество пациентов в группе.

Figure 3. Mean BMI values in carriers of different *GPX4* rs713041 genotypes in the control (a) and case (b) groups. CC is the wild genotype; CT and TT are mutant genotypes. The dominant pattern of inheritance is used. The ordinate axis indicates BMI values while the bars show the means and the group size.

Обсуждение. По данным настоящего исследования можно предположить возможную ассоциацию повышенных значений ИМТ с наличием полиморфного Т-аллеля в генотипе. Также стоит отметить, что статистически значимые различия значений ИМТ между носителями разных генотипов наблюдались в группе рабочих, находящихся под воздействием вредных факторов производственной среды и трудового процесса, но не в группе сравнения.

Значительный интерес для исследований представляет полиморфизм rs713041, расположенный в ключевой для встраивания селена области гена *GPX4*. Ключевой особенностью *GPX4* является то, что это селенопротеин: в его активном центре содержится аминокислота селеноцистеин, которая включается в растущую полипептидную цепь за счёт специальной шпилечной структуры в 3'-нетранслируемой области (3'-UTR) мРНК, известной как SECIS-элемент (selenocysteine insertion sequence)[6,7]. Было высказано предположение, что полиморфизм rs713041 может влиять на уровни и функцию гена, а также влиять на изменения активности фермента в плазме [8]. В работе Crosley et al. генотип ТТ увеличивал перекисное окисление липидов, адгезию моноцитов и экспрессию

VCAM-1 (белок адгезии сосудистых клеток 1) в эндотелиальных клетках, что является фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний [9]. В других исследованиях была обнаружена прямая корреляция между биомаркерами окислительного стресса и ИМТ. Это может быть связано с недостаточностью ферментов антиоксидантной системы, в частности, GPX4, который обладает способностью прерывать перекисное окисление липидов. При снижении активности фермента увеличивается синтез липопротеидов очень низкой плотности, окислительной модификации липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) с образованием атерогенных частиц и снижении активности рецепторов к ЛПНП [10]. Изменения в липидном обмене и окислительный стресс провоцируют повышенное деление преадипоцитов и гипертрофию клеток жировой ткани, а также могут влиять на чувства голода и сытости [11,12].

Заключение. В ходе проведённого исследования было установлено, что лица, работающие во вредных условиях труда и имеющие в генотипе Т-аллель полиморфизма гена *GPX4*, имели более высокие показатели ИМТ. Данные результаты можно использовать для выявления лиц группы риска и проведения своевременных профилактических мероприятий.

Вклад авторов.

Концепция и дизайн исследования – Полянина Д.Д., Берёза И.А., Кикоть А.М., Шаихова Д.Р., Сутункова М.П.

Сбор и обработка материала – Полянина Д.Д., Берёза И.А., Кикоть А.М., Шаихова Д.Р.

Анализ данных – Полянина Д.Д.

Написание текста и оформление статьи – Полянина Д.Д.

Редактирование – Полянина Д.Д., Берёза И.А., Кикоть А.М., Шаихова Д.Р., Сутункова М.П.

Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех ее частей.

Author contribution:

Concept and design of the study – Polianina D.D., Bereza I.A., Kikot A.M., Shaikhova D.R., Sutunkova M.P.

Collection and processing of material – Polianina D.D., Bereza I.A., Kikot A.M., Shaikhova D.R.

Data analysis – Polianina D.D.

Writing the text and designing the article – Polianina D.D.

Editing – Polianina D.D., Bereza I.A., Kikot A.M., Shaikhova D.R., Sutunkova M.P.

All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Список литературы:

1. Газимова В. Г., Шастин А. С., Чаурина Д. В., Константинова Е. Д., Маслакова Т. А., Огородникова С. Ю., Вараксин А. Н., Борцов С. М. Использование математических моделей в оценке системы кровообращения у работающих во вредных условиях труда. Гигиена и санитария. 2024;103(9):947-953. doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-947-953
2. Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. Toxicology. 2011;283(2–3):65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
3. Kontsevaya A., Shalnova S., Deev A., Breda J., Jewell J., Rakovac I., Conrady A., Rotar O. [et al.] Overweight and Obesity in the Russian Population: Prevalence in Adults and Association with Socioeconomic Parameters and Cardiovascular Risk Factors. Obes. Facts. 2019;12(1):103–114.
4. Vincent, H. K., Taylor, A. G. Biomarkers and potential mechanisms of obesity-induced oxidant stress in humans. International Journal of Obesity. 2006;30(3):400-418.
5. Brigelius-Flohé, R., Maiorino, M. Glutathione peroxidases. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects. 2013;1830(5):3289-3303.
6. Meplan C., Crosley L.K., Nicol F., Horgan G.W., Mathers J.C., Arthur J.R., Hesketh J.E. Functional effects of a common single-nucleotide polymorphism (GPX4c718t) in the glutathione peroxidase 4 gene: Interaction with sex. Am. J. Clin. Nutr. 2008; 87:1019–1027.

7. Liu P., Zhu J., Yuan G., Li D., Wen Y., Huang S., Lv Z., Guo Y., Cheng J. The effects of selenium on GPX4-mediated lipid peroxidation and apoptosis in germ cells. *Journal of applied toxicology: JAT*. 2022; 42(6):1016–1028. <https://doi.org/10.1002/jat.4273>
8. Crawford A., Fassett R. G., Coombes J. S., et al. Glutathione peroxidase, superoxide dismutase and catalase genotypes and activities and the progression of chronic kidney disease. *Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*. 2011;26(9):2806–2813. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfq828>
9. Crosley L. K. The single-nucleotide polymorphism (GPX 4c718t) in the glutathione peroxidase 4 gene influences endothelial cell function: Interaction with selenium and fatty acids / L. K. Crosley, S. Bashir, F. Nicol, J. R. Arthur, J. E. Hesketh, A. A. Sneddon // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013;57(12):2185–2194. doi:10.1002/mnfr.201300216.
10. Ahn J., Nowell S., McCann S. E., et al. Associations between catalase phenotype and genotype: modification by epidemiologic factors. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*. 2006;15(6):1217–1222. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-06-0104>
11. Поварова О.В., Городецкая Е.А., Каленикова Е.И., Медведев О.С. Метаболические маркеры и окислительный стресс в патогенезе ожирения у детей. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2020;65(1):22-29.
12. Horvath T. L., Andrews Z. B., Diano S. Fuel utilization by hypothalamic neurons: roles for ROS. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2009;20(2):78–87. – doi:10.1016/j.tem.2008.10.003.

References:

1. Gazimova V. G., Shastin A. S., Chaurina D. V., Konstantinova E. D., Maslakova T. A., Ogorodnikova S. Yu., Varaksin A. N., Bortsov S. M. The use of mathematical models in assessing the circulatory system of workers in harmful working conditions. *Gigiena i sanitariya*. 2024;103(9):947-953. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-947-953

2. Jomova K., Valko M. Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*. 2011;283(2–3):65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
3. Kontsevaya A., Shalnova S., Deev A., Breda J., Jewell J., Rakovac I., Conrady A., Rotar O. [et al.] Overweight and Obesity in the Russian Population: Prevalence in Adults and Association with Socioeconomic Parameters and Cardiovascular Risk Factors. *Obes. Facts*. 2019;12(1):103–114.
4. Vincent, H. K., Taylor, A. G. Biomarkers and potential mechanisms of obesity-induced oxidant stress in humans. *International Journal of Obesity*. 2006;30(3):400-418.
5. Brigelius-Flohé, R., Maiorino, M. Glutathione peroxidases. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*. 2013;1830(5):3289-3303.
6. Meplan C., Crosley L.K., Nicol F., Horgan G.W., Mathers J.C., Arthur J.R., Hesketh J.E. Functional effects of a common single-nucleotide polymorphism (GPX4c718t) in the glutathione peroxidase 4 gene: Interaction with sex. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008; 87:1019–1027.
7. Liu P., Zhu J., Yuan G., Li D., Wen Y., Huang S., Lv Z., Guo Y., Cheng J. The effects of selenium on GPX4-mediated lipid peroxidation and apoptosis in germ cells. *Journal of applied toxicology: JAT*. 2022; 42(6):1016–1028. <https://doi.org/10.1002/jat.4273>
8. Crawford A., Fassett R. G., Coombes J. S., et al. Glutathione peroxidase, superoxide dismutase and catalase genotypes and activities and the progression of chronic kidney disease. *Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*. 2011;26(9):2806–2813. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfq828>
9. Crosley L. K. The single-nucleotide polymorphism (GPX 4c718t) in the glutathione peroxidase 4 gene influences endothelial cell function: Interaction with selenium and fatty acids / L. K. Crosley, S. Bashir, F. Nicol, J. R. Arthur, J. E. Hesketh, A. A. Sneddon // *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013;57(12):2185–2194. doi:10.1002/mnfr.201300216.
10. Ahn J., Nowell S., McCann S. E., et al. Associations between catalase phenotype and genotype: modification by epidemiologic factors. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored*

by the American Society of Preventive Oncology. 2006;15(6):1217–1222. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-06-0104>

11. Povarova O.V., Gorodetskaya E.A., Kalenik16a E.I., Medvedev O.S. Metabolic markers and oxidative stress in the pathogenesis of obesity in children. *Rossiiskiy vestnik perinatologii i pediatrii*. 2020;65(1):22-29. (In Russ.).

12. Horvath T. L., Andrews Z. B., Diano S. Fuel utilization by hypothalamic neurons: roles for ROS. *Trends in Endocrinology & Metabolism*. 2009;20(2):78–87. – doi:10.1016/j.tem.2008.10.003.

Информация об авторах.

Дарья Дмитриевна Полянина – младший научный сотрудник отдела молекулярной биологии и электронной микроскопии ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. (620014, г. Екатеринбург, email: polyaninadd@ymrc.ru ORCID iD: 0009-0007-5046-0207)

Иван Андреевич Берёза – научный сотрудник отдела молекулярной биологии и электронной микроскопии ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора (620014, г. Екатеринбург, email: berezaia@ymrc.ru ORCID iD: 0000-0002-4109-9268)

Дарья Рамильевна Шаихова – научный сотрудник отдела молекулярной биологии и электронной микроскопии ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. (620014, г. Екатеринбург, email: darya.bo@mail.ru ORCID iD: 0000-0002-7029-3406)

Анна Михайловна Кикоть – научный сотрудник отдела молекулярной биологии и электронной микроскопии ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. (620014, г. Екатеринбург, email: kikotam@ymrc.ru ORCID iD: 0000-0001-8794-7288)

Марина Петровна Сутункова – доктор медицинских наук, директор ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора; заведующая кафедрой гигиены и медицины труда. (620014, г. Екатеринбург, email: sutunkova@ymrc.ru ORCID iD: 0000-0002-1743-7642)

Author information

Daria D. Polianina, Junior Researcher, Department of Molecular Biology and Electron Microscopy, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers (620014, Yekaterinburg, Russian Federation; email: polyaninadd@ymrc.ru; ORCID iD: 0009-0007-5046-0207)

Ivan A. Bereza – Researcher, Department of Molecular Biology and Electron Microscopy, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers (620014, Yekaterinburg, Russian Federation; email: berezaia@ymrc.ru; ORCID iD: 0000-0002-4109-926)

Daria R. Shaikhova, Researcher, Department of Molecular Biology and Electron Microscopy, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers (620014, Yekaterinburg, Russian Federation; email: darya.boo@mail.ru; ORCID iD: 0000-0002-7029-3406)

Anna M. Kikot, Researcher, Department of Molecular Biology and Electron Microscopy, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers (620014, Yekaterinburg, Russian Federation; email: kikotam@ymrc.ru; ORCID iD: 0000-0001-8794-7288)

Marina P. Sutunkova, Doct. Sc. (Medicine), Director, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection among Industrial Workers, 620014, Yekaterinburg, Russian Federation; Head of the Department of Occupational Hygiene and Medicine, Ural State Medical University (620028, Yekaterinburg, Russian Federation; email: sutunkova@ymrc.ru; ORCID iD: 0000-0002-1743-7642)

Поступила/Received: 16.02.2026

Принята в печать/Accepted: 18.02.2026