

EDN: <https://elibrary.ru/imefnc>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-292-299>

УДК 613.648.2; 577.175.739

© Коллектив авторов, 2023

Кислякова А.А., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Безрукавникова Л.М.

Маркёры адипокинового обмена и гормонально-метаболические нарушения у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Будённого, 31, Москва, 105275

Введение. С ростом процессов урбанизации проблема профессионального воздействия электрических и магнитных полей промышленной частоты представляет собой всё более актуальную тему. В последнее время особое внимание уделяется долгосрочным последствиям для здоровья, связанным с длительным воздействием вредного физического фактора. Ранее полученные данные о повышении уровней показателей липидного обмена и гормонально-метаболических нарушений у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты, обуславливают актуальность изучения адипокинового обмена и оценки генетических факторов риска предрасположенности к кардиоваскулярной патологии у работников электроэнергетической отрасли.

Цель исследования — изучение взаимосвязи биохимических и молекулярно-генетических маркёров адипокинового обмена с показателями гормонально-метаболических нарушений для комплексной оценки сердечно-сосудистого риска у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты.

Материалы и методы. Обследовано 144 сотрудника основной группы, осуществляющих ремонт и эксплуатацию электросетевых объектов, и 40 работников контрольной группы, не подвергающихся воздействию электромагнитных полей промышленной частоты. В образцах сыворотки крови определяли концентрацию лептина и адипонектина. Был проведён расчёт отношения адипонектина к лептину. Выполнено молекулярно-генетическое исследование однонуклеотидных полиморфизмов генов лептина (*LEP*) G2548A (*rs7799039*), рецептора лептина (*LEPR*) A668G (*rs1137101*) и рецептора адипонектина 2-го типа (*ADIPOR2*) G795A (*rs16928751*).

Результаты. У сотрудников основной группы выявлен более высокий уровень лептина (8,1 (3,7; 14,4) нг/мл) относительно аналогичного показателя в контрольной группе (6,0 (4,1; 11,1) нг/мл), $p < 0,028$. Уровни лептина и адипонектина умеренно и слабо коррелируют с гормонально-метаболическими показателями. В группе сотрудников со стажем менее 10 лет установлен более высокий уровень адипонектина по сравнению с группой со стажем 11–20 лет (6,1 (4,6; 9,1) мкг/мл и 4,5 (3,6; 6,4) мкг/мл соответственно); с увеличением стажа работы более 20 лет установлено достоверное увеличение концентрации лептина ($p < 0,05$). Выявлена значимость однонуклеотидных полиморфизмов генов *LEPR*, *LEP*, *ADIPOR2* в развитии абдоминального ожирения, повышении уровня холестерина и снижении уровня общего тестостерона у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты.

Ограничения исследования. Исследование ограничено количеством обследованных (144 работника).

Выводы. Результаты проведённого исследования свидетельствуют о взаимосвязи биохимических и молекулярно-генетических маркёров адипокинового обмена с показателями гормонально-метаболических нарушений у сотрудников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты. При обследовании работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты, в комплексной оценке сердечно-сосудистого риска является информативным использование клинико-лабораторных маркёров адипокинового обмена (биохимические, молекулярно-генетические).

Этика. Работа соответствует этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 200н. От каждого обследованного было получено информированное согласие на участие в исследовании, одобренное в установленном порядке локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол заседания этического комитета ФГБНУ «НИИ МТ» № 4 от 25.12.2013 г.).

Ключевые слова: электрические и магнитные поля промышленной частоты; лептин; адипонектин; ген *LEPR*; ген *LEP*; ген *ADIPOR2*

Для цитирования: Кислякова А.А., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Безрукавникова Л.М. Маркёры адипокинового обмена и гормонально-метаболические нарушения у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(5): 292–299. <https://elibrary.ru/imefnc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-292-299>

Для корреспонденции: Кислякова Агата Александровна, младший научный сотрудник лаборатории медико-биологических исследований, ФГБНУ «НИИ МТ». E-mail: agat.iwanowa2017@yandex.ru

Участие авторов:

Кислякова А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;
Кузьмина Л.П. — концепция и дизайн исследования, редактирование;
Хотулева А.Г. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование;
Безрукавникова Л.М. — редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 03.04.2023 / Дата принятия к печати: 13.04.2023 / Дата публикации: 05.05.2023

Agata A. Kislyakova, Lyudmila P. Kuzmina, Anastasia G. Khotuleva, Lyudmila M. Bezrukavnikova

Markers of adipokine metabolism and hormonal-metabolic disorders in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275

Introduction. With the growth of urbanization processes, the problem of professional exposure to electric and magnetic fields of industrial frequency is an increasingly relevant topic. Recently, the scientists paid a special attention to the long-term health consequences associated with prolonged exposure to harmful physical factors. The previously obtained data on the increase in the levels of lipid metabolism and hormonal and metabolic disorders in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency determine the relevance of studying adipokine metabolism and assessing genetic risk factors for predisposition to cardiovascular pathology in employees of the electric power industry.

The study aims to research the relationship of biochemical and molecular genetic markers of adipokine metabolism with indicators of hormonal and metabolic disorders for a comprehensive assessment of cardiovascular risk in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency.

Materials and methods. The researchers examined 144 employees of the main group engaged in the repair and operation of power grid facilities and 40 employees of the control group who are not exposed to electromagnetic fields of industrial frequency. The concentration of leptin and adiponectin was determined in blood serum samples. The authors have calculated the ratio of adiponectin to leptin. We have performed a molecular genetic study of single nucleotide polymorphisms of leptin (LEP) G2548A (rs7799039), leptin receptor (LEPR) A668G (rs1137101) and adiponectin type two receptor (ADIPOR2) G795A (rs16928751) genes.

Results. The staff of the main group revealed a higher level of leptin (8.1 (3.7; 14.4) ng/ml) relative to the same indicator in the control group (6.0 (4.1; 11.1) ng/ml), $p < 0.028$. Levels of leptin and adiponectin moderately and weakly correlate with hormonal and metabolic parameters. In the group of employees with less than 10 years of experience, a higher level of adiponectin was established compared to the group with 11–20 years of experience (6.1 (4.6; 9.1) mcg/ml and 4.5 (3.6; 6.4) mcg/ml, respectively); with an increase in work experience of more than 20 years, a significant increase in the concentration of leptin was found ($p < 0.05$). Scientists have identified the significance of single-nucleotide polymorphisms of the LEPR, LEP, ADIPOR2 genes in the development of abdominal obesity, an increase in cholesterol levels and a decrease in the level of total testosterone in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency.

Limitations. The study is limited to the number of surveyed (144 employees).

Conclusion. The results of the study indicate the relationship of biochemical and molecular genetic markers of adipokine metabolism with indicators of hormonal and metabolic disorders in employees exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency. When examining workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency, the use of clinical and laboratory markers of adipokine metabolism (biochemical, molecular genetic) is informative in a comprehensive assessment of cardiovascular risk.

Ethics. The work complies with ethical standards developed in accordance with the Helsinki Declaration of the World Medical Association "Ethical Principles of conducting Scientific medical research with human participation" as amended in 2000 and the "Rules of Clinical Practice in the Russian Federation" approved by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 200n dated 01.04.2016. Informed consent to participate in the study was received from each of the surveyed, approved in accordance with the established procedure by the local ethics committee of Izmerov Research Institute of Occupational Health (minutes of the meeting of the Ethics committee of Izmerov Research Institute of Occupational Health No. 4 dated 12/25/2013).

Keywords: electric and magnetic fields of industrial frequency; leptin; adiponectin; LEPR gene; LEP gene; ADIPOR2 gene

For citation: Kislyakova A.A., Kuzmina L.P., Khotuleva A.G., Bezrukavnikova L.M. Markers of adipokine metabolism and hormonal-metabolic disorders in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(5): 292–299. <https://elibrary.ru/imefnc> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-292-299> (in Russian)

For correspondence: Agata A. Kislyakova, Junior Researcher at the Laboratory of Biomedical Research, Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: agatiwanowa2017@yandex.ru

Information about the authors: Kislyakova A.A. <https://orcid.org/0000-0002-7024-6634>
Kuzmina L.P. <https://orcid.org/0000-0001-6334-9814>
Khotuleva A.G. <https://orcid.org/0000-0003-0359-1785>
Bezrukavnikova L.M. <https://orcid.org/0000-0002-0430-4154>

Contribution:

Kislyakova A.A. — research concept and design, data collection and processing, text writing;
Kuzmina L.P. — concept and design of the study, editing;
Khotuleva A.G. — concept and design of research, writing, editing;
Bezrukavnikova L.M. — editing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 03.04.2023 / Accepted 13.04.2023 / Published 05.05.2023

Введение. Профессиональное воздействие электрических и магнитных полей промышленной частоты (ЭП и МП ПЧ) возникает везде, где вырабатывается, распределяется и используется электричество в рабочей среде, а также, когда оно используется как часть рабочего процесса.

Ряд авторов связывает негативное воздействие ЭП и МП ПЧ с развитием сердечно-сосудистой патологии среди сотрудников, подвергающихся длительному воздействию вредного физического фактора [1, 2]. В предыдущих исследованиях сравнительный анализ показате-

лей липидного обмена выявил достоверное повышение значений общего холестерина, липопротеидов низкой плотности, триглицеридов и индекса атерогенности относительно контрольной группы [3]. Кроме того, выявлено снижение концентраций общего и свободного тестостерона, а также глобулина, связывающего половые гормоны, в группе сотрудников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ [4], что свидетельствует о гормонально-метаболических нарушениях у данной категории сотрудников.

Одна из основных ролей в развитии гормонально-метаболических нарушений принадлежит адипокинам, секретируемым клетками жировой ткани, таким как лептин и адипонектин. При ожирении и особенно абдоминальном ожирении развивается селективная центральная лептинорезистентность: повышенные концентрации лептина перестают регулировать чувство голода, а периферическое действие лептина, проявляющееся в том числе в подавлении секреции тестостерона, — усиливается [5, 6]. Адипонектин, в свою очередь, проявляет антиатерогенную, противодиабетическую и противовоспалительную активность [7]. Однако уровень адипонектина обратно пропорционален концентрации тестостерона [8, 9], что в свою очередь является предметом разногласий [10] и представляет интерес с точки зрения межсистемных взаимодействий.

На состояние обмена адипокинов влияют генетические полиморфизмы адипокинов и их рецепторов, которые ассоциированы с изменением уровней данных гормонов и функциональной активностью их рецепторов, что влияет на развитие метаболических нарушений. При этом оценка генетических факторов риска гормонально-метаболических нарушений, ассоциированных с повышенным сердечно-сосудистым риском, является значимой у работающих в контакте с вредными производственными факторами, воздействующими на метаболические процессы и сердечно-сосудистую систему.

Таким образом, целью данного исследования явилось изучение взаимосвязи биохимических и молекулярно-генетических маркёров адипокинового обмена с показателями гормонально-метаболических нарушений у сотрудников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

Материалы и методы. Основная группа обследованных представлена сотрудниками электроэнергетической отрасли, подвергающимися воздействию ЭП и МП ПЧ. В рамках проведения периодического медицинского осмотра в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 29н на базе клиники ФГБНУ «НИИ МТ» было обследовано 144 электромонтёра, выполняющих ремонт, обслуживание и эксплуатацию действующих электроустановок. Средний возраст работников основной группы составил $49,2 \pm 8,6$ года.

Обследованные основной группы выполняют работы, связанные с техническим обслуживанием электроустановок напряжением 50 В и выше переменного тока и 75 В и выше постоянного тока, проведение в них оперативных переключений с выполнением строительных монтажных наладочных ремонтных работ [11, 12]. По результатам специальной оценки условий труда обследованных лиц установлены классы условий труда 3.1 и 3.2 [13, 14].

При производстве работ на объектах высокого класса напряжения (110–220 кВ) данный персонал выполняет следующие рабочие задачи: техническое обслуживание рабочего устройства автоматического выключателя с платформы, техническое обслуживание выключателя, обслуживание освещения открытых распределительных устройств (ОРУ), обход территории ОРУ, техническое обслуживание управляющего устройства разъединителя, работа рядом с силовым трансформатором, проверка устройства управления заземлителем с платформы, осмотр распределительного шкафа на земле.

Персонал, выполняющий ремонт, обслуживание и эксплуатацию электроустановок высокого класса напряе-

ния, подвергается ЭП и МП ПЧ, превышающим ПДУ, установленные на территории Российской Федерации — 5 кВ/м (ЭП ПЧ) для всей рабочей смены и 80 м/А (МП ПЧ) для всей рабочей смены [15].

Группу контроля составили 40 мужчин, не имеющих хронических заболеваний и не контактирующих с ЭП и МП ПЧ. Средний возраст группы контроля составил $48,8 \pm 7,1$ года. Таким образом, обследуемые группы являлись сопоставимыми по возрасту ($p=0,4$).

Оценка влияния продолжительности действия вредных производственных факторов была проведена с поправкой на возраст в трёх стажевых группах: 1 — стаж 1–10 лет ($n=25$), средний возраст $47,6 \pm 6,5$ года; 2 — стаж 11–20 года ($n=45$), средний возраст $49,1 \pm 8,3$ года; 3 — стаж 21 и более лет ($n=35$), средний возраст $50,3 \pm 4,6$ года ($p>0,05$).

Для достижения поставленной цели было выполнено исследование уровней адипонектина и лептина в сыворотке с использованием наборов реагентов *Mediagnost «Adiponectin ELISA»* (Германия) и *Diagnostics Biochem Canada Inc. (DBC) «Leptin ELISA»* (Канада) методом твердофазного иммуноферментного анализа. Для оценки дисфункции жировой ткани рассчитывалось отношение адипонектина к лептину. Значение отношения более 1 считалось как низкий, 0,5–1 — умеренно-повышенный, менее 0,5 — высокий кардиометаболический риск. Обследованным работникам, подвергающимся воздействию ЭП и МП ПЧ, проведено молекулярно-генетическое исследование однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП) генов лептина (*LEP*) G2548A (*rs7799039*), рецептора лептина (*LEPR*) A668G (*rs1137101*) и рецептора адипонектина 2-го типа (*ADIPOR2*) G795A (*rs16928751*) методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с использованием наборов реагентов НПФ «ЛИТЕХ».

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы *STATISTICA 10*. Результаты количественных данных при нормальном распределении показателей представлены в виде $M \pm sd$ (M — среднее, sd — стандартное отклонение). При распределении, отличном от нормального, данные представлены в виде Me ($Q1$; $Q3$), где Me — медиана, $Q1$ и $Q3$ — нижний и верхний квартили соответственно. Анализ различий по количественным признакам при сравнении двух групп проводился с применением параметрических и непараметрических критериев (t -критерий и критерий Манна–Уитни соответственно), при сравнении трех и более групп — с применением критерия Краскела–Уоллиса. Для определения силы связи между количественными параметрами использовали расчёт коэффициента корреляции Спирмена (r), между количественными и порядковыми переменными — коэффициент корреляции гамма (γ). Статистически значимым считали уровень достоверности $p<0,05$.

Результаты. Сравнительный анализ концентраций адипонектина в группах не выявил достоверных отличий, однако уровень лептина в основной группе оказался достоверно выше отн осительно группы контроля (**табл. 1**).

Частота выявления лиц с повышенной концентрацией лептина среди сотрудников основной группы составила 52,1%, при этом повышение лептина у обследованных работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, без абдоминального ожирения выявлено у 28,6%. Для оценки дисфункции жировой ткани рассчитывалось отношение адипонектина к лептину. Данный индекс считается маркёром кардиометаболического риска. Среди со-

трудников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, значение маркера, соответствующее нормальному уровню (более 1,0), зарегистрировано лишь у 37,5% сотрудников. Умеренно повышенный и высокий кардиометаболический риск зарегистрирован в 18,8% и 43,7% случаев соответственно.

В целях изучения взаимосвязи между гормонально-метаболическими показателями и показателями адипокинового обмена был проведён корреляционный анализ между концентрациями маркеров изучаемых систем (табл. 2).

Анализ корреляционных взаимосвязей выявил, что наиболее сильную положительную корреляцию уровень лептина имеет с показателями углеводного обмена (инсулином и индексом инсулинорезистентности), умеренную связь с показателями липидного обмена: отрицательную с ХС ЛПВП и положительную с триглицеридами и ИА. С показателями мужской половой системы лептин имеет обратную умеренную корреляционную связь. Полученные данные подтверждают взаимосвязь лептина с гормонально-метаболическими нарушениями, ассоциированными с развитием сердечно-сосудистой патологии.

Наиболее значимую отрицательную связь адипонектин имеет с основными кардиометаболическими маркерами: инсулином, индексом НОМА, триглицеридами и индексом атерогенности. Положительную умеренную ассоциацию адипонектин проявляет с ХС ЛПВП и ГСПГ, что подтверждает кардиопротективное и противовоспалительное действие гормона.

Оценка влияния продолжительности работы в контакте с ЭП и МП ПЧ на состояние адипокинового обмена показала стабильное достоверное увеличение концентрации уровня лептина в основной группе, а также снижение концентрации адипонектина при стаже работы с электроустановками более 10 лет (табл. 3).

Генетически детерминированные нарушения обмена адипокинов: лептина и адипонектина могут играть роль в развитии гормонально-метаболических нарушений. При анализе результатов молекулярно-генетических исследований генов адипокинов и их рецепторов у обследованных основной группы, в зависимости от наличия абдоминального ожирения, установленного в соответствии с критериями Международной Федерации диабета (IDF, 2005 г.) выявлено преобладание генотипа GG гена *LEPR* у обследованных с абдоминальным ожирением (табл. 4). Таким образом, генотип GG гена *LEPR* является фактором риска развития абдоминального ожирения (ОШ=4,675, 95%ДИ: 1,687–12,955) и сопутствующих ему нарушений.

При исследовании распределения частот генотипов и аллелей генов *LEP* и *ADIPOR2* у обследованных лиц в зависимости от наличия абдоминального ожирения достоверных различий получено не было (табл. 4), однако на основании проведённого анализа корреляционных взаимосвязей наличия однонуклеотидных полиморфизмов (ОНП) с гормонально-метаболическими нарушениями показана ассоциация генотипа GG гена *ADIPOR2* с более высоким уровнем ХС-ЛПНП $\gamma=0,489$ ($p<0,001$) и аллели G гена *LEP* с более низкими уровнями общего ($\gamma=-0,253$, $p=0,022$) и свободного ($\gamma=-0,339$, $p=0,017$) тестостерона.

Обсуждение. В проведённом исследовании показано изменение адипокинового обмена при воздействии ЭП и МП ПЧ. Нарушение соотношения адипокинов ассоциировано с абдоминальным ожирением, инсулинорезистентностью, дислипидемией и андрогенным дефицитом, являющимися факторами риска развития сердечно-сосу-

Таблица 1 / Table 1

Средние значения показателей адипокинового обмена в контрольной и основной группах
Average values of adipokine metabolism in the control and main groups

Показатель	Основная группа (n=144)	Контрольная группа (n=40)	p
Адипонектин, мкг/мл	5,1 (3,6; 7,3)	5,2 (4,3; 7,6)	0,226
Лептин, нг/мл	8,1 (3,7; 14,4)	6,0 (4,1; 11,1)	0,028
Адипонектин / лептин	0,7 (0,3; 1,8)	1,0 (0,4; 1,4)	0,054

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты корреляции уровней адипокинов с гормонально-метаболическими показателями у работников основной группы
Correlation coefficients of adipokine levels with hormonal-metabolic parameters in workers of the main group

Показатель	Лептин	Адипонектин	Адипонектин / лептин
Глюкоза	0,195*	-0,129	-0,217**
Инсулин	0,685***	-0,322***	-0,678***
Гликозилированный гемоглобин	0,213*	-0,049	-0,189*
Индекс НОМА-IR	0,688***	-0,319***	-0,681***
ОХ	-0,063	0,099	-0,103
ХС ЛПНП	0,113*	-0,129	-0,124
ХС ЛПВП	-0,282***	0,369***	0,361***
Триглицериды	0,434***	-0,266***	-0,452***
ИА	0,337***	-0,417***	-0,423***
ОТ	-0,264**	0,011	0,254**
СТ	-0,159	0,048	0,148
ГСПГ	-0,279***	0,378***	0,378***

дистой патологии, что определяет значимость исследования клинко-лабораторных показателей системы адипокинов у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, для оптимизации оценки сердечно-сосудистого риска. Представленное исследование в сочетании с проведёнными ранее работами свидетельствует об особенностях межсистемных взаимодействий гормонально-метаболических показателей у сотрудников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

Проведённое исследование позволило установить наличие достоверных изменений уровней адипокинов в основной группе по отношению к контрольной группе, о которых свидетельствуют результаты сравнительного анализа среднegrupповых значений. Следует отметить, что результаты наших исследований согласуются с данными других авторов, описывающих влияние ЭП и МП на уровень лептина. В исследовании Sareh Koshbakht (2019 г.) показано увеличение концентрации лептина вследствие воздействия низкочастотных ЭП и МП [16].

Кроме того, в работе зарубежных исследователей было зафиксировано увеличение массы тела лабораторных

Таблица 3 / Table 3

Значения показателей адипокинового обмена в зависимости от стажа
Values of adipokine metabolism indicators depending on the length of service

Показатель	Исследуемые группы			
	1 (до 10 лет, n=25)	2 (стаж 11–20 лет, n=45)	3 (стаж 21 и более лет, n=35)	Контрольная группа (n=40)
Адипонектин, мкг/мл	6,1 (4,6; 9,1)**	4,5 (3,6; 6,4)	5,8 (3,0; 8,0)	5,2 (4,3; 7,6)
Лептин, нг/мл	4,9 (2,8; 12,2)	7,3(3,9; 10,9)***	11,2 (4,5; 24,0)*	6,0 (4,1; 11,1)
Адипонектин / лептин	1,1 (0,4; 2,7)*	0,7 (0,4; 1,5)	0,4 (0,2; 1,5)	1,0 (0,4; 1,4)

Примечание: * — $p<0,05$ с контрольной группой, ** — $p<0,05$ со 2 группой, *** — $p<0,05$ с 3 группой.
Note: * — $p<0,05$ with the control group, ** — $p<0,05$ with 2 groups, *** — $p<0,05$ with 3 groups.

Таблица 4 / Table 4

Распределение генотипов и аллелей генов адипокинов и их рецепторов у обследованных основной группы в зависимости от наличия абдоминального ожирения
Distribution of genotypes and alleles of adipokine genes and their receptors in the examined main group, depending on the presence of abdominal obesity

ОНП	Генотипы и аллели	Абдоминальное ожирение –		Абдоминальное ожирение +		p
		Абс.	Частота	Абс.	Частота	
LEP G2548A	AA	13	0,254	21	0,228	0,720
	AG	19	0,373	45	0,489	0,179
	GG	19	0,373	26	0,283	0,267
	A	45	0,441	87	0,473	0,607
	G	57	0,559	97	0,527	
LEPR A668G	AA	22	0,431	23	0,250	0,025
	AG	24	0,471	38	0,413	0,506
	GG	5	0,098	31	0,337	0,0016
	A	68	0,667	84	0,457	0,0006
	G	34	0,333	100	0,543	
ADIPOR2 G795A	GG	33	0,647	73	0,793	0,056
	AG	18	0,353	19	0,207	
	AA	—	—	—	—	—
	G	84	0,824	165	0,897	0,077
	A	18	0,176	19	0,103	

животных в условиях свободного доступа пищи и снижение массы тела в условиях отключённой электроустановки. Авторы работы делают вывод о том, что длительное воздействие ЭП и МП может оказывать метаболические эффекты на млекопитающих, тем самым влияя на такие параметры, как масса тела, углеводный и липидный обмены [17].

Дисбаланс в системе метаболического обмена неразрывно связан с нарушением гормональной регуляции мужской половой системы. Адипокины играют важную роль как в обмене веществ, так и в гормональной регуляции мужской половой системы. Адипокины — это гормоны, секретируемые жировой тканью, которые регулируют многочисленные физиологические процессы, включая энергетический обмен, процессы воспаления, синтез андрогенов [18]. Соответственно, нарушение баланса адипокинов может оказывать негативное влияние на метаболизм и гормональную регуляцию, потенциально приводя к состояниям, ассоциированным с сердечно-сосудистыми факторами риска: абдоминальное ожирение, метаболический синдром [19].

Данные проведённого нами корреляционного анализа отражают взаимосвязь уровней адипокинов с показателя-

ми липидного и углеводного обменов, а также показателями мужской половой системы. Кроме того, с показателями гормонально-метаболического обмена достаточно высокую корреляционную связь показал маркёр дисфункции жировой ткани — отношение адипонектина к лептину. Среди сотрудников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, значение маркёра, соответствующее нормальному уровню (более 1,0), зарегистрировано лишь у 37,5% сотрудников. Умеренно повышенный и высокий кардио-метаболический риск зарегистрирован в 18,8% и 43,7% случаев соответственно.

Считается, что данный маркёр тесно связан с показателями инсулинорезистентности (индекс НОМА), гиперинсулинемией, ИМТ, абдоминальным ожирением [20]. Было установлено, что соотношение адипонектин/лептин коррелирует с резистентностью к инсулину лучше, чем адипонектин или лептин по отдельности [21]. Сообщается, что это соотношение уменьшается с увеличением числа кардиометаболических факторов риска, отражающих функциональность жировой ткани [22].

При сравнительной оценке показателей адипокинов в зависимости от трудового стажа установлен более вы-

сокий уровень адипонектина у работников 1 группы (стаж до 10 лет) относительно группы 2 (стаж 11–20 лет). Достоверных отличий с третьей стажевой группой не обнаружено, что может свидетельствовать об адаптационном потенциале кардиопротективных возможностей организма. С увеличением стажа работы более 10 лет зарегистрировано достоверное увеличение концентрации лептина относительно группы контроля и малостажированных сотрудников, что свидетельствует о развитии лептинорезистентности у работников при длительном воздействии низкочастотных ЭП и МП ПЧ.

В работе выявлена ассоциация генотипа GG гена *LEPR* с развитием абдоминального ожирения, лежащего в основе патогенетических механизмов развития и прогрессирования метаболических нарушений, что может быть связано с измененной структурой рецептора и в связи с этим нарушением роли лептина в регуляции чувства насыщения [23]. При исследовании ОНП гена лептина не было получено ассоциации с развитием абдоминального ожирения, но выявлена взаимосвязь с изменением уровня тестостерона. В настоящее время показано влияние лептина на продукцию андрогенов [24], и в связи с этим ОНП в промоторной области гена лептина, влияющий на уровень белка, может играть роль в развитии андрогенного дефицита при наличии других факторов риска этого нарушения, к которым можно отнести воздействие ЭП и МП ПЧ [4]. При исследовании ОНП гена адипонектина, играющего важную роль в развитии нарушений углеводного и липидного обменов [25], выявлена его ассоциация с повышением ХС-ЛПНП, что определяет значимость оценки данного маркера в комплексной оценке сердечно-сосудистого риска у работающих в контакте с ЭП и МП ПЧ, учитывая влияние данного производственного фактора на липидный обмен [3].

Таким образом, показатели адипокинового обмена, такие как лептин и адипонектин, а также отношение адипо-

нектина к лептину, отражающие функциональность жировой ткани, могут быть клинически полезными для выявления субъектов, предрасположенных к кардиометаболическим заболеваниям среди сотрудников, подвергающихся длительному воздействию ЭП и МП ПЧ.

Вероятное негативное влияние ЭП и МП на метаболические процессы в организме является важным фактором, который следует учитывать при обсуждении потенциальных последствий для здоровья персонала, обслуживающего действующие электроустановки.

Выводы:

1. Воздействие ЭП и МП ПЧ негативно влияет на адипокиновый обмен, о чём свидетельствуют результаты анализа показателей лептина, адипонектина и отношения адипонектина к лептину у сотрудников электроэнергетической отрасли в сравнении с контрольной группой.

2. В группе сотрудников со стажем до 10 лет установлен более высокий уровень адипонектина в сравнении со второй стажевой группой (стаж 11–20 лет); с увеличением стажа работы более 20 лет установлено достоверное увеличение концентрации лептина.

3. Изменение уровней адипокинов взаимосвязано с изменениями показателей углеводного, липидного обменов и мужской репродуктивной системы, являющимися доказанными факторами риска сердечно-сосудистой патологии.

4. Установлена значимость однонуклеотидных полиморфизмов генов *LEPR*, *LEP*, *ADIPOR2* в развитии гормонально-метаболических нарушений у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

5. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование клинико-лабораторных маркеров адипокинового обмена (биохимические, молекулярно-генетические) в комплексной оценке сердечно-сосудистого риска при углублённом обследовании работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

Список литературы

1. Тихонова Г.И., Рубцова Н.Б., Походзей А.В., Курьеров Н.Н., Пальцев Ю.П., Самусенко Т.Г., и др. Оценка профессионального риска от воздействия электромагнитных излучений. *Мед. труда и пром. экол.* 2004; 5: 30–4.
2. Фатхутдинова Л.М., Залялов Р.Р., Берхеева З.М., Миннирова М.З., Головизнин В.А. Эпидемиологическое исследование влияния работы с источниками электромагнитных полей сверхнизкой частоты на развитие сердечно-сосудистой патологии. *Казанский медицинский журнал.* 2005; 86(4): 284–8.
3. Кузьмина Л.П., Кислякова А.А., Безрукавникова Л.М., Хотулева А.Г., Османова П.Ш. Оценка показателей липидного обмена у работников, подвергающихся воздействию электромагнитных полей промышленной частоты. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2021; 11–2(113): 167–71.
4. Кузьмина Л.П., Кислякова А.А., Безрукавникова Л.М., Хотулева А.Г., Варакута А.А. Влияние электромагнитных полей промышленной частоты на мужскую репродуктивную систему. *Медицина труда и промышленная экология.* 2022; 62(6): 397–402.
5. Хрипун И.А., Гусова З.Р., Дзантиева Е.О., Пузырева В.П., Белоусов И.И., Воробьев С.В. Тестостерон как инструмент метаболического контроля мужского здоровья (обзор литературы). *Медицинский вестник Юга России.* 2014; 4: 19–22.
6. Машарипов Ф.С., Мусаева А.Ф., Садуллаев А.Ф. Ожирение, инсулинорезистентность и репродуктивное здоровье мужчины: патогенетические взаимодействия и современная патогенетическая фармакотерапия. *In international scientific review of the problems of natural sciences and medicine.* 2019; 104–14.
7. Goldstein B.J., Scalia R. Adiponectin: a novel adipokine linking adipocytes and vascular function. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 2004; 89(6): 2563–8.
8. Lanfranco F., Zitzmann M., Simoni M., Nieschlag E. Serum adiponectin levels in hypogonadal males: influence of testosterone replacement therapy. *Clinical endocrinology.* 2004; 60(4): 500–7.
9. Nishizawa H., Shimomura I., Kishida K., Maeda N., Kuriyama H., Nagaretani H., et al. Androgens decrease plasma adiponectin, an insulin-sensitizing adipocyte-derived protein. *Diabetes.* 2002; 51(9): 2734–41.
10. Tsujimura A., Takada S., Matsuoka Y., Nakayama J., Takao T., Miyagawa Y., et al. Adiponectin and testosterone in patients with symptoms of late-onset hypogonadism: Is there a link? *International journal of urology.* 2009; 16(10): 830–5.
11. Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Землякова С.С. Резолюция профильной комиссии Минздрава России по специальности «Профпатология». *Медицина труда и промышленная экология.* 2021; 61(4): 281–2.
12. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. *Центрмг.* 2021; 736.
13. Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. Утв. Главным Государственным Санитарным Врачом РФ 29.07.2005.

14. Амиров Н.Х., Илюхин Н.Е., Русин М.Н., Краснощекова В.Н. Условия труда и профессиональный риск оперативного персонала энергетических объектов. *Гигиена и санитария*. 2013; 2: 39–41.
15. Nadolny Z. Impact of Changes in Limit Values of Electric and Magnetic Field on Personnel Performing Diagnostics of Transformers. *Energies*. 2022; 15(19): 7230.
16. Khoshbakht S., Motejaded F., Karimi S., Jalilvand N., Ebrahimzadeh-Bideskan A. Protective effects of selenium on electromagnetic field-induced apoptosis, aromatase P450 activity, and leptin receptor expression in rat testis. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2021; 24(3): 322.
17. Gerardi G., De Ninno A., Prosdoci M., Ferrari V., Barbaro F., Mazzariol S., et al. Effects of electromagnetic fields of low frequency and low intensity on rat metabolism. *Biomagnetic research and technology*. 2008; 6(1): 1–8.
18. Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г. Метаболический синдром при профессиональных заболеваниях органов дыхания. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 12: 8–13.
19. Кологривова И.В., Винницкая И.В., Кошельская О.А., Суслова Т.Е. Висцеральное ожирение и кардиометаболический риск: особенности гормональной и иммунной регуляции. *Ожирение и метаболизм*. 2017; 14(3): 3–10.
20. Zaletel J., Pongrac Barlovic D., Prezelj J. Adiponectin-leptin ratio: a useful estimate of insulin resistance in patients with Type 2 diabetes. *Journal of endocrinological investigation*. 2010; 33: 514–8.
21. Inoue M., Yano M., Yamakado M., Maehata E., Suzuki S. Relationship between the adiponectin-leptin ratio and parameters of insulin resistance in subjects without hyperglycemia. *Metabolism*. 2006; 55(9): 1248–54.
22. Vega G.L., Grundy S.M. Metabolic risk susceptibility in men is partially related to adiponectin/leptin ratio. *Journal of obesity*. 2013; 409679. <https://doi.org/10.1155/2013/409679>
23. Kasim N.B., Huri H.Z., Vethakkan S. R., Ibrahim L., Abdullah B.M. Genetic polymorphisms associated with overweight and obesity in uncontrolled Type 2 diabetes mellitus. *Biomarkers in medicine*. 2016; 10(4): 403–15.
24. Khodamoradi K., Parmar M., Khosravizadeh Z., Kuchakulla M., Manoharan M., Arora H. The role of leptin and obesity on male infertility. *Current opinion in urology*. 2020; 30(3): 334–9.
25. Yanai H., Yoshida H. Beneficial effects of adiponectin on glucose and lipid metabolism and atherosclerotic progression: mechanisms and perspectives. *International journal of molecular sciences*. 2019; 20(5): 1190.

References

1. Tikhonova G.I., Rubtsova N.B., Pokhodzey L.V., Kur'evov N.N., Pal'tsev Yu.P., Samusenko T.G., et al. Assessment of occupational risk from exposure to electromagnetic radiation. *Med. truda i prom. ekol.* 2004; 5: 30–4 (in Russian).
2. Fathutdinova L.M., Zaljalov R.R., Berheeva Z.M., Minnijarova M.Z., Goloviznin V.A. Epidemiological study of the effect of working with sources of ultra-low frequency electromagnetic fields on the development of cardiovascular pathology. *Kazanskij medicinskij zhurnal*. 2005; 86(4): 284–8. (in Russian).
3. Kuz'mina L.P., Kislyakova A.A., Bezrukavnikova L.M., Khotuleva A.G., Osmanova P. Sh. Assessment of lipid metabolism indicators in workers exposed to electromagnetic fields of industrial frequency. *International Research Journal*. 2021; 11–2(113): 167–71 (in Russian).
4. Kuz'mina L.P., Kislyakova A.A., Bezrukavnikova L.M., Khotuleva A.G., Varakuta A.L. The influence of electromagnetic fields of industrial frequency on the male reproductive system. *Med. truda i prom. ekol.* 2022; 62(6): 397–402 (in Russian).
5. Khripun I.A., Gusova Z.R., Dzantieva E.O., Puzyreva V.P., Belousov I.I., Vorob'ev S.V. Testosterone as a tool of metabolic control of men's health (literature review). *Meditsinskij vestnik Yuga Rossii*. 2014; 4: 19–22 (in Russian).
6. Masharipov F.S., Musaeva A.F., Sadullaev A.F. Obesity, insulin resistance and male reproductive health: pathogenetic interactions and modern pathogenetic pharmacotherapy. *In international scientific review of the problems of natural sciences and medicine*. 2019; 104–14.
7. Goldstein B.J., Scalia R. Adiponectin: a novel adipokine linking adipocytes and vascular function. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 2004; 89(6): 2563–68.
8. Lanfranco F., Zitzmann M., Simoni M., Nieschlag E. Serum adiponectin levels in hypogonadal males: influence of testosterone replacement therapy. *Clinical endocrinology*. 2004; 60(4): 500–7.
9. Nishizawa H., Shimomura I., Kishida K., Maeda N., Kuriyama H., Nagaretani H., et al. Androgens decrease plasma adiponectin, an insulin-sensitizing adipocyte-derived protein. *Diabetes*. 2002; 51(9): 2734–41.
10. Tsujimura A., Takada S., Matsuoka Y., Nakayama J., Takao T., Miyagawa Y., et al. Adiponectin and testosterone in patients with symptoms of late-onset hypogonadism: Is there a link? *International journal of urology*. 2009; 16(10): 830–5.
11. Bukhtiyarov I.V., Kuz'mina L.P., Zemlyakova S.S. Resolution of the profile commission of the Ministry of Health of the Russian Federation on the specialty "Occupational Pathology". *Med. truda i prom. ekol.* 2021; 61(4): 281–2 (in Russian).
12. SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. *Centrmag*. 2021; 736 (in Russian).
13. R 2.2.2006-05 Guidelines for the hygienic assessment of factors of the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions. Approved. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 29.07.2005 (in Russian).
14. Amirov N.H., Iljuhin N.E., Rusin M.N., Krasnosheheva V.N. Working conditions and occupational risk of operational personnel of energy facilities. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 2: 39–41 (in Russian).
15. Nadolny Z. Impact of Changes in Limit Values of Electric and Magnetic Field on Personnel Performing Diagnostics of Transformers. *Energies*. 2022; 15(19): 7230.
16. Khoshbakht S., Motejaded F., Karimi S., Jalilvand N., Ebrahimzadeh-Bideskan A. Protective effects of selenium on electromagnetic field-induced apoptosis, aromatase P450 activity, and leptin receptor expression in rat testis. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*. 2021; 24(3): 322.
17. Gerardi G., De Ninno A., Prosdoci M., Ferrari V., Barbaro F., Mazzariol S., et al. Effects of electromagnetic fields of low frequency and low intensity on rat metabolism. *Biomagnetic research and technology*. 2008; 6(1): 1–8.
18. Kuz'mina L.P., Hotuleva A.G. Metabolic syndrome in occupational respiratory diseases. *Med. truda i prom. ekol.* 2018; 12: 8–13 (in Russian).
19. Kologrivova I.V., Vinnickaja I.V., Koshel'skaja O.A., Suslova T.E. Visceral obesity and cardiometabolic risk: features of hormonal and immune regulation. *Ozhirenie i metabolizm*. 2017; 14(3): 3–10 (in Russian).
20. Zaletel J., Pongrac Barlovic D., Prezelj J. Adiponectin-leptin ratio: a useful estimate of insulin resistance in patients with Type 2 diabetes. *Journal of endocrinological investigation*. 2010; 33: 514–8.
21. Inoue M., Yano M., Yamakado M., Maehata E., Suzuki S. Relationship between the adiponectin-leptin ratio and parameters of insulin resistance in subjects without hyperglycemia. *Metabolism*. 2006; 55(9): 1248–54.

-
22. Vega G.L., Grundy S.M. Metabolic risk susceptibility in men is partially related to adiponectin/leptin ratio. *Journal of obesity*. 2013; 409679. <https://doi.org/10.1155/2013/409679>
23. Kasim N.B., Huri H.Z., Vethakkan S.R., Ibrahim L., Abdullah B.M. Genetic polymorphisms associated with overweight and obesity in uncontrolled Type 2 diabetes mellitus. *Biomarkers in medicine*. 2016; 10(4): 403–15.
24. Khodamoradi K., Parmar M., Khosravizadeh Z., Kuchakulla M., Manoharan M., Arora H. The role of leptin and obesity on male infertility. *Current opinion in urology*. 2020; 30(3): 334–9.
25. Yanai H., Yoshida H. Beneficial effects of adiponectin on glucose and lipid metabolism and atherosclerotic progression: mechanisms and perspectives. *International journal of molecular sciences*. 2019; 20(5): 1190.
-