

EDN: <https://elibrary.ru/xaxxvr>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-575-581>

УДК 613.6.02:613.648.2:611.814.3

© Коллектив авторов, 2024

Кузьмина Л.П., Кислякова А.А., Анохин Н.Н.

Состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы у работников электросетевых объектов

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

Введение. Электрические и магнитные поля промышленной частоты являются неотъемлемой частью производственных процессов, и их воздействие на организм человека вызывает всё больший интерес как среди учёных, так и среди специалистов в области медицины и охраны труда. В последние десятилетия наблюдается нарастающая обеспокоенность по поводу потенциального влияния этих полей на здоровье работников, особенно тех, кто подвергается длительному воздействию в процессе своей профессиональной деятельности. В этом контексте особое внимание уделяется нейроэндокринной системе, которая играет ключевую роль в регуляции многих физиологических процессов, включая обмен веществ, стрессовые реакции и поддержание гомеостаза. Изучение основ нейроэндокринной системы и механизмов воздействия электромагнитных полей на организм не только способствует углублению научных знаний в области биомедицинских исследований, но и имеет практическое значение в обеспечении безопасности труда и улучшения условий работы на промышленных предприятиях, позволяя выявить возможные последствия для здоровья и разработать эффективные меры по защите работников от негативных биоэффектов.

Цель исследования — изучение воздействия электрического и магнитного полей промышленной частоты на функциональное состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы работников электросетевых объектов.

Материалы и методы. Обследованы 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 адренокортикотропного гормона, кортизола и дегидроэпиандростерона сульфата. Был проведён расчёт отношения дегидроэпиандростерона сульфата к кортизолу.

Результаты. У работников, подвергающихся сочетанному воздействию электрического и магнитного полей промышленной частоты, наблюдалось более низкое ($p < 0,05$) содержание уровня адренокортикотропного гормона ($1,9 [0,5; 3,9]$ пг/мл) и дегидроэпиандростерона сульфата ($5,8 [3,7; 8,4]$ мкмоль/л) в крови по сравнению с группой работников, подвергающихся воздействию магнитных полей промышленной частоты ($4,4 [2,1; 12,9]$ пг/мл; $9,8 [6,3; 14,5]$ мкмоль/л) и с группой контроля ($6,4 [4,0; 19,8]$ пг/мл; $7,8 [4,7; 13,3]$ мкмоль/л) соответственно. В группе работников, подвергающихся сочетанному воздействию полей, выявлена ассоциация низкого уровня отношения дегидроэпиандростерона сульфата к кортизолу с развитием сердечно-сосудистых заболеваний и его обратная связь со стажем работы ($p < 0,05$).

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

Выводы. Результаты проведённого исследования свидетельствуют об индуцированной воздействием электрического и магнитного полей промышленной частоты гипоактивности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, проявляющейся снижением уровня адренокортикотропного гормона, дегидроэпиандростерона сульфата и его отношения к кортизолу у работников, подвергающихся сочетанному воздействию электрического и магнитного полей промышленной частоты.

Этика. Работа соответствует этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинской 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» № 17 от 16.12.2015 г.).

Ключевые слова: электрические и магнитные поля промышленной частоты; адренокортикотропный гормон; кортизол; дегидроэпиандростерона сульфат / кортизол

Для цитирования: Кузьмина Л.П., Кислякова А.А., Анохин Н.Н. Состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы у работников электросетевых объектов. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(9): 575–581. <https://elibrary.ru/xaxxvr> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-575-581>

Для корреспонденции: Кислякова Агата Александровна, e-mail: agat.iwanowa2017@yandex.ru

Участие авторов:

Кузьмина Л.П. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Кислякова А.А. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Анохин Н.Н. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 19.09.2024 / Дата принятия к печати: 27.09.2024 / Дата публикации: 10.10.2024

Lyudmila P. Kuzmina, Agata A. Kislyakova, Nikolay N. Anokhin

The state of the hypothalamic-pituitary-adrenal system in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency

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

Introduction. Electric and magnetic fields of industrial frequency are an integral part of production processes, and their effect on the human body is of increasing interest both among scientists and among specialists in the field of medicine and occupational safety. In recent decades, there has been growing concern about the potential impact of these areas on the health

of workers, especially those who are exposed to prolonged exposure in the course of their professional activities. In this context, we pay special attention to the neuroendocrine system, which plays a key role in regulating many physiological processes, including metabolism, stress reactions and maintaining homeostasis. The study of the fundamentals of the neuroendocrine system and the mechanisms of the effect of electromagnetic fields on the body not only contributes to the deepening of scientific knowledge in the field of biomedical research, but also has practical significance in ensuring occupational safety and improving working conditions in industrial enterprises, allowing to identify possible health consequences and develop effective measures to protect workers from negative bioeffects.

The study aims to research the effects of electric and magnetic fields of industrial frequency on the functional state of the hypothalamic-pituitary-adrenal system of employees of electric grid facilities.

Materials and methods. Specialists examined 144 employees of the main group engaged in the repair and operation of electric grid facilities and 40 employees of the control group who were not exposed to electromagnetic fields of industrial frequency. We determined the concentration of adrenocorticotrophic hormone, cortisol and dehydroepiandrosterone sulfate in blood serum samples and calculated the ratio of dehydroepiandrosterone sulfate to cortisol.

Results. Workers exposed to the combined effects of electric and magnetic fields of industrial frequency had a lower ($p < 0.05$) level of adrenocorticotrophic hormone (1.9 [0.5; 3.9] pg/ml) and dehydroepiandrosterone sulfate (5.8 [3.7; 8.4] mmol/l) in the blood compared with the group of workers exposed to magnetic fields industrial frequency fields (4.4 [2.1; 12.9] pg/ml; 9.8 [6.3; 14.5] mmol/l) and to the control group (6.4 [4.0; 19.8] pg/ml; 7.8 [4.7; 13.3] mmol/l), respectively. The scientists also revealed in the group of workers exposed to combined exposure in the field, the association of a low ratio of dehydroepiandrosterone sulfate and cortisol with the development of cardiovascular diseases and feedback from work experience ($p < 0.05$).

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

Conclusion. The results of the study indicate the hypoactivity of the hypothalamic-pituitary-adrenal system induced by exposure to electric and magnetic fields of industrial frequency, manifested by a decrease in the level of adrenocorticotrophic hormone, dehydroepiandrosterone sulfate and its relationship to cortisol in workers exposed to combined effects of electric and magnetic fields of industrial frequency.

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 dated 04/01/2016 No. 200n. We received informed consent from each examined person to participate in the study, 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 No. 17 dated 12/16/2015).

Keywords: electric and magnetic fields of industrial frequency; adrenocorticotrophic hormone; cortisol; dehydroepiandrosterone sulfate / cortisol

For citation: Kuzmina L.P., Kislyakova A.A., Anokhin N.N. The state of the hypothalamic-pituitary-adrenal system in workers exposed to electric and magnetic fields of industrial frequency. *Med. truda and prom. ekol.* 2024; 64(9): 575–581. <https://elibrary.ru/xaxxvr> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-9-575-581> (in Russian)

For correspondence: Agata A. Kislyakova, e-mail: agat.iwanowa2017@yandex.ru

Contribution:

Kuzmina L.P. — concept and design of the study, editing;

Kislyakova A.A. — research concept and design, data collection and processing, text writing, editing;

Anokhin N.N. — research concept and design, writing, editing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 19.09.2024 / Accepted: 27.09.2024 / Published: 10.10.2024

Введение. Электрические и магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) антропогенного происхождения стали неотъемлемой частью современной жизни. В то же время Всемирная организация здравоохранения относит электрическое поле (ЭП) и магнитное поле (МП) промышленной частоты (ПЧ) к одним из опасных и значимых для здоровья населения факторов, характеризующихся своим стрессогенным действием [1]. Длительное и систематическое воздействие полей на организм с уровнями, превышающими предельно допустимые значения, приводит к развитию нарушений процессов адаптации [2], которые проявляются в виде изменений, не имеющих специфического характера: нарушение метаболических процессов, перестройки гормональной регуляции, характеризующиеся трофическими и вегетативными расстройствами [3, 4]. Описанный симптомокомплекс указывает на нарушение регуляторной функции гипоталамуса и изменения в гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системе (ГГНС), принимающей непосредственное участие в формировании адаптационного ответа на стресс [5].

В соответствии с теорией общего адаптационного ответа одна из наиболее значимых ролей в его формировании принадлежит глюкокортикоидам [6]. Стресс-индуцированное нарушение гипоталамо-гипофизарно-

надпочечникового звена эндокринной системы определяет характер долговременной адаптации к воздействию экстремального фактора и характеризуется изменением концентраций адренокортикотропного гормона (АКТГ), кортизола, а также дисбалансом катаболических и анаболических процессов [7, 8]. Гиперсекреция кортизола вызывает сдвиг метаболизма в сторону катаболических процессов: распад веществ и высвобождение энергии [9]. Андрогены же обладают анаболическим эффектом, оказывая нейротропное действие [10, 11]. Снижение уровня андрогенов, у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ свидетельствует о дефиците резервов анаболической фазы адаптационного ответа, необходимой для успешного выхода из стресса [6, 12].

Дегидроэпиандростерона сульфат (ДГЭАС) оказывает стрессопротективное действие на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, защищая их от воздействия повышенной секреции кортизола¹ [13]. Наиболее неблагоприятным прогностическим признаком в динами-

¹ Мякотных В.С., Остапчук Е.С., Мещанинов В.Н., Сиденкова А.П., Боровкова Т.А., Торгашов М.Н., Щербаков Д.Л. Патологическое старение: основные «мишени», возраст-ассоциированные заболевания, гендерные особенности, геропрофилактика: учебное пособие. М.: Новый формат; 2021.

ке сердечно-сосудистой и цереброваскулярной патологии является сочетание низкой концентрации ДГЭАС и высокого уровня кортизола в крови, поскольку именно на фоне истощения резерва анаболических гормонов эффекты кортизола приводят к негативным последствиям [14]. Исходя из этого, одним из важных показателей соотношения катаболических и анаболических процессов служит соотношение уровня ДГЭАС и кортизола [15]. Низкий уровень индекса ДГЭАС/кортизол ассоциирован с дисрегуляцией в ГГНС [16], что может характеризовать его как эффективный оценочный маркер состояния сердечно-сосудистой, нервной и репродуктивной систем.

Результаты проведенного ранее исследования указывают на развитие гормонально-метаболических нарушений у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ [17], что соответствует теории общего адаптационного ответа, и о значимой роли исследования показателей ГГНС у электротехнического персонала с целью улучшения профилактических мероприятий.

Цель исследования — изучение воздействия электрического и магнитного полей промышленной частоты на функциональное состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы работников электросетевых объектов.

Материалы и методы. В рамках проведения периодического медицинского осмотра в соответствии с Приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 29н на базе клинического отдела профессиональных и производственно обусловленных заболеваний ФГБНУ «НИИ МТ» обследовано 144 работника электросетевых объектов, на основании профессиографических характеристик которых сформированы две группы: электромонтёры по ремонту и монтажу кабельных линий электропередачи ($n=50$) — группа воздействия МП ПЧ; электромонтёры оперативно-выездной бригады, электромонтёры по эксплуатации распределительных сетей, электрослесари по ремонту оборудования распределительных устройств, электромонтёры по ремонту воздушных линий электропередачи, электромонтёры по обслуживанию подстанций ($n=94$) (группа ЭП и МП ПЧ, или сочетанного воздействия полей). Для сравнения исследуемых показателей сформирована контрольная группа работников, не имеющих контакта с ЭП и МП ПЧ в производственных условиях ($n=40$). Исследуемые группы сопоставимы по возрасту и стажу (табл. 1).

Концентрации ДГЭАС, кортизола и АКТГ в сыворотке крови определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием наборов реагентов фирмы «ХЕМА» (Россия) на автоматическом микропланшетном анализаторе DSX (Dynex Technologies, США). Соотношение ДГЭАС/кортизол выражали в относительных единицах.

Статистическую обработку данных проводили с применением программы StatTech 4.1.2, Россия. Для проверки равенства медиан нескольких выборок использовали критерий Краскела–Уоллиса, для апостериорных сравнений — критерий Данна с поправкой Холма. Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряжённости выполняли с помощью критерия хи-квадрат Пирсона. Направление и тесноту корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Данные представлены в виде медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей ($Q1$ – $Q3$). Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$.

Результаты. Для изучения влияния воздействия ЭП и МП ПЧ на функциональное состояние ГГНС работников электросетевых объектов проведено исследование содержания в сыворотке АКТГ, кортизола, ДГЭАС и расчёт отношения ДГЭАС к кортизолу. В **таблице 1** приведены результаты анализа средних концентраций гормонов у обследуемых в зависимости от характера воздействия физического фактора. Анализ показателей состояния ГГНС указывает на более низкие уровни АКТГ и ДГЭАС в группе ЭП и МП ПЧ в сравнении с контрольной группой и группой воздействия МП ПЧ. Средние значения кортизола в обследованных группах находились в пределах референтного интервала и достоверной разницы между его уровнями выявлено не было. Более низкое значение индекса ДГЭАС / кортизол выявлено в группе ЭП и МП ПЧ ($p<0,001$) относительно группы воздействия МП ПЧ (табл. 2).

Установлено, что у работников всех трех групп средний уровень АКТГ оказался ниже границы референтного интервала. Сравнительный анализ встречаемости отклонений показателей от референтных значений выявил, что низкие уровни АКТГ в группе ЭП и МП ПЧ встречаются в 90,4% случаев, в группе МП ПЧ и контрольной группе в 64% и 60% случаев соответственно ($p<0,05$). Низкий уровень ДГЭАС выявлен у 10,6% работников группы ЭП и МП ПЧ, тогда как низкое отношение ДГЭАС к кортизолу выявлено в 35,1% случаев.

При анализе корреляционных взаимосвязей в группе воздействия ЭП и МП ПЧ выявлена обратная связь индекса ДГЭАС/кортизол ($r=-0,573$; $p<0,001$) с возрастом. Учитывая полученные данные, расчёт корреляционной связи между исследуемыми показателями и стажем проводили в возрастной группе работников 50–59 лет ($n=28$) (табл. 3).

Результаты корреляционного анализа исследуемых показателей в группе работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, 50–59 лет указывают на наличие умеренной тесноты обратной связи ($r=-0,445$, $p=0,018$) между значениями ДГЭАС/кортизол и стажем (рисунок), при этом, ассоциаций с возрастом не выявлено.

Сочетание низкой концентрации ДГЭАС и высокого уровня кортизола в крови считается неблагоприятным прогностическим признаком в предрасположенности и динамике сердечно-сосудистой патологии, поскольку на фоне истощения резерва анаболических гормонов эффекты кортизола приводят к негативным последствиям¹. Результаты нашего более раннего исследования [18] свидетельствуют о развитии гормонально-метаболических нарушений, ассоциированных с развитием ССЗ, у работников, подвергающихся сочетанному воздействию ЭП и МП ПЧ. Сравнительный анализ показателей ГГНС в группе работников, подвергающихся сочетанному воздействию полей, с имеющейся сердечно-сосудистой патологией указывает на более низкое значение ДГЭАС/кортизол ($p<0,05$) относительно группы работников без ССЗ: 1,1 (0,5–1,5)% и 1,7 (0,9–2,2)% соответственно. В группе работников, подвергающихся воздействию МП ПЧ, соответствующих различий не наблюдалось ($p>0,05$).

Обсуждение. Гипоталамус является центром регуляции эндокринных функций, объединяет нервные и эндокринные регуляторные механизмы в общую нейроэндокринную систему и принимает непосредственное участие в регуляции гормонально-метаболических процессов. Нарушение функций гипоталамуса

Таблица 1 / Table 1

Характеристика обследованных в зависимости от возраста и стажа
Characteristics of the surveyed, depending on age and seniority

Показатели	Группы			p
	МП ПЧ (n=50)	ЭП и МП ПЧ (n=94)	Контрольная группа (n=40)	
Возраст, лет	50,5 (45; 56)	48 (42; 57,8)	47 (44; 53,3)	0,570
Стаж, лет	19 (6; 25,8)	18 (10; 25)	—	0,478

Таблица 2 / Table 2

Уровни гормонов в крови в обследованных группах
Blood hormone levels in the examined groups

Показатели	Референтный интервал	Группы		
		МП	ЭП и МП	Контрольная группа
		1	2	3
Возраст, лет	—	50,5 [45,0; 56,0]	48,0 [42,0; 57,8]	47,0 [44,0; 53,2]
АКТГ (пг/мл)	8,3–57,8	4,4 [2,1; 12,9]	1,9 [0,5; 3,9]*#	6,4 [4,0; 19,8]
Кортизол (нмоль/л)	140–600	435 [356; 489]	438 [348; 514]	387 [336; 505]
ДГЭАС (мкмоль/л)	2–15	9,8 [6,3; 14,5]	5,8 [3,7; 8,4]*#	7,8 [4,7; 13,3]
ДГЭАС/кортизол, %	>2,0	2,4 [1,7; 3,4]	1,5 [0,9; 2,1]#	1,8 [1,3; 2,4]

Примечание: * — критерий достоверности различий с контрольной группой, $p<0,05$; # — критерий достоверности различий с группой МП ПЧ, $p<0,05$.

Note: * — criterion for the reliability of differences with the control group, $p<0.05$; # — criterion for the reliability of differences with the group exposed to industrial frequency magnetic field, $p<0.05$.

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты корреляции лабораторных показателей с возрастом и стажем
Correlation coefficients of laboratory parameters with age and experience

Показатели	ρ (коэффициент корреляции Спирмена)	p
АКТГ – стаж	–0,087	0,659
АКТГ – возраст	–0,119	0,547
Кортизол – стаж	0,249	0,202
Кортизол – возраст	0,032	0,870
ДГЭАС/кортизол – стаж	–0,445	0,018
ДГЭАС/кортизол – возраст	–0,052	0,792

характеризуется обменными, трофическими и вегетативными расстройствами, ведущими к развитию метаболических нарушений [19]. Одним из первых от воздействия стрессогенных факторов окружающей среды, в том числе ЭП и МП ПЧ, страдает стресс-реализующее гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковое звено, определяющее характер долговременной адаптации [2].

Анализ состояния показателей ГГНС у электротехнического персонала указывает на наличие у работников отклонения от нормы уровня АКТГ во всех трех группах. Концентрация АКТГ у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, была значительно ниже референтного интервала и достоверно отличалась от уровней гормона в контрольной группе и группе воздействия МП ПЧ ($p<0,05$), отражая гипоактивность ГГНС в условиях сочетанного воздействия полей. Полученные данные соответствуют литературным данным и указывают на признаки дисрегуляции в ГГНС, при которой практически не наблюдается увеличения выработки АКТГ и кортизола, в то время как у здоровых лиц при стрессогенном воздействии содержание этих гормонов резко возрастает и достоверно

отличается более высокой активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы [5].

Глюкокортикоиды, в том числе кортизол, играют важную роль в регуляции многих процессов в организме включая реакцию на стрессогенные факторы. Однако их использование в качестве биомаркеров для диагностики стресс-индуцированных нарушений затруднено, что обусловлено рядом причин. Из-за высокой биологической и индивидуальной изменчивости уровней глюкокортикоидов референтные интервалы для этих гормонов являются очень широкими. Кроме того, часто наблюдается отсутствие корреляции между уровнями глюкокортикоидов и физиологическими проявлениями, что может быть связано с активацией компенсаторных защитных механизмов [6]. Анализ уровней кортизола в исследуемых группах не выявил существенных различий и находился в пределах референтного интервала. Полученные результаты соответствуют литературным данным и указывают на трудность использования кортизола в качестве лабораторного маркера стресс-индуцированных метаболических нарушений у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

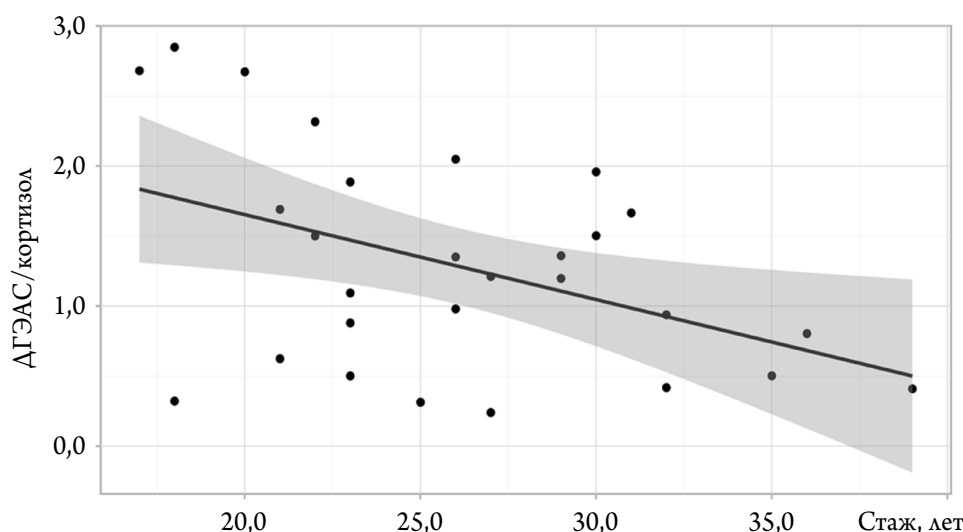


Рисунок. График регрессионной функции, характеризующий зависимость ДГЭАС/кортизол от стажа

Figure. Graph of the regression function characterizing the dependence of dehydroepiandrosterone sulfate / cortisol on seniority

В группе сочетанного воздействия ЭП и МП ПЧ наблюдалось достоверное снижение уровня ДГЭАС относительно группы контроля и группы воздействия МП ПЧ ($p < 0,05$), что свидетельствует о дефиците резервов анаболической фазы адаптационного ответа. Необходимо также учитывать тот факт, что ДГЭАС проявляет липолитический эффект и выявленное снижение секреторного резерва этого гормона может иметь определённое значение в преобладании процессов липогенеза, что может являться причиной выявленных ранее гормонально-метаболических нарушений у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ [18]. Длительное воздействие стрессогенного фактора может приводить к нарушению метаболизма, приводя к преобладанию катаболических процессов, которые реализуются как за счёт гиперсекреции кортизола, так и на фоне истощения резерва анаболических гормонов-андрогенов. Одним из важных показателей баланса катаболических и анаболических процессов служит соотношение уровней ДГЭАС и кортизола. Считается, что снижение данного индекса может говорить об истощении анаболических возможностей организма по мере увеличения длительности воздействия стрессогенного фактора [13].

В настоящем исследовании выявлена обратная корреляционная связь отношения ДГЭАС/кортизол со стажем работы в условиях воздействия ЭП и МП ПЧ, что подтверждает теорию истощения адаптационных возможностей организма, выражающихся в преобладании катаболических процессов над анаболическими, по мере увеличения длительности влияния вредного производственного фактора. Вместе с тем ассоциация низких

значений ДГЭАС/кортизол с наличием ССЗ свидетельствует о значимости использования данного индекса в качестве эффективного оценочного лабораторного маркера стресс-индуцированных гормонально-метаболических нарушений и ассоциированной с ними кардиоваскулярной патологии у работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

Таким образом, длительное воздействие ЭП и МП ПЧ может стимулировать процессы, приводящие к нейроэндокринной дисрегуляции, ответственной за развитие гормонально-метаболических нарушений, что свидетельствует о значимости исследования биохимических показателей состояния ГГНС у работников электросетевых объектов, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ.

Выводы:

1. У работников, подвергающихся сочетанному воздействию ЭП и МП ПЧ, отмечается стресс-индуцированная гипоактивность ГГНС, проявляющаяся в снижении уровня АКТИ, ДГЭАС и индекса ДГЭАС/кортизол.

2. У работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, с увеличением стажа работы происходит снижение значения индекса ДГЭАС/кортизол, свидетельствующее об истощении адаптационных возможностей организма по мере увеличения длительности воздействия стрессогенного фактора.

3. У работников, подвергающихся воздействию ЭП и МП ПЧ, низкое значение ДГЭАС/кортизол ассоциировано с развитием сердечно-сосудистой патологии.

4. Показатель ДГЭАС/кортизол может использоваться в качестве эффективного оценочного лабораторного маркера стресс-индуцированных нарушений ГГНС.

Список литературы (пп. 1, 7, 8 см. References)

- Лизарев А.В. Динамика изменений показателей гормонального гомеостаза у работающих при воздействии электромагнитных полей промышленной частоты. *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; 1 (89): 188–190.
- Бичкаев Я.И., Петрова Т.Б., Власова О.С., Третьякова Т.В., Шуваева А.А. Динамика содержания кортизола, инсулина и параметров углеводного обмена у рабочих подвижного состава железнодорожного транспорта. *Экология человека*. 2009; 7: 51–55.
- Меерсон Ф.З. *Адаптация, стресс, профилактика*. М.: Наука, 1981.
- Соколов Е.И., Заев А.П., Хованская Т.П., Жижина С.А., Петрин С.В., Разин А.С., Филонов В.К. Влияние инсулиновой

- нагрузки на некоторые гормонально-метаболические параметры у больных с гипоталамическим синдромом. *Проблемы Эндокринологии*. 1995; 41(6): 16–19. <https://doi.org/10.14341/probl11487>
6. Ковязина Н.А., Алхутова Н.А. Индекс ДГЭАС/кортизол как маркер стресс-индуцированного преждевременного старения. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2019; 64(3): 140–144. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2019-64-3-140-144>
 9. Фурдуй Ф.И., Вуду Л.Ф., Чокинэ В.К., Фурдуй В.Ф., Вуду С.Г., Бешетя Т.С., Георгиу З.Б. Гормоны как индукторы и регуляторы метаболических, пролиферативных и физиологических процессов, определяющих состояние здоровья. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2011; 315(3): 4–15.
 10. Левчук А.А., Биктимиров Д.Р., Гуткевич Е.В., Рошина О.В., Васильева С.Н., Казенных Т.В., Перчаткина О.Э., Аксенов М.М. Гуморальные факторы анаболического и катаболического баланса у женщин с депрессивными расстройствами. *Сибирский вестник психиатрии и наркологии*. 2024; 1(122): 18–26. [https://doi.org/10.26617/1810-3111-2024-1\(122\)-18-26](https://doi.org/10.26617/1810-3111-2024-1(122)-18-26)
 11. Енина Т.Н., Петелина Т.И., Широков Н.Е., Горбатенко Е.А., Родионова А.Е., Гапон Л.И. Ассоциация уровня тестостерона и активности оксидативного стресса с 10-летней выживаемостью мужчин с сердечной ресинхронизирующей терапией. *Вестник аритмологии*. 2024; 31(1): 14–27. <https://doi.org/10.35336/VA-1215>
 12. 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. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-6-397-402>
 13. Тюзиков И.А. Дегидроэпиандростерон у мужчин: потенциальные физиологические эффекты с позиции доказательной медицины. *Эффективная фармакотерапия*. 2020; 16(20): 44–51. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2020-16-20-44-51>
 14. Алхутова Н.А., Ковязина Н.А., Рыбников В.Ю. Лабораторные маркеры преждевременного старения и метаболического синдрома у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС. *Медицинский алфавит*. 2021; 13: 59–63. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-13-59-63>
 15. Кочетков Я.А., Бельтикова К.В., Горобец А.Н. Анаболическо-катаболический баланс при депрессии: влияние коаксила. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2006; 106(10): 47–51.
 16. Козлов А.И., Козлова М.А. Кортизол как маркер стресса. *Физиология человека*. 2014; 40(2): 126.
 17. Кислякова А.А., Кузьмина Л.П., Хотулева А.Г., Безрукавникова Л.М. Маркеры адипокинового обмена и гормонально-метаболические нарушения у работников, подвергающихся воздействию электрических и магнитных полей промышленной частоты. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(5): 292–299. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-292-299>
 18. Кислякова А.А., Хотулева А.Г. Оценка гормонально-метаболических показателей у работников, подвергающихся воздействию магнитных и электрических полей промышленной частоты. В кн.: «Здоровье и окружающая среда». М.: Издательский центр БГУ; 2022: 191–196.
 19. Булатов А.А., Макаровская Е.Е., Марова Е.И., Мельниченко Г.А. Гиперпролактинемия с преобладанием высокомолекулярного иммунореактивного пролактина: различие в регуляции уровня высокомолекулярной и мономерной форм в крови. *Проблемы Эндокринологии*. 1995; 41(6): 19–23. <https://doi.org/10.14341/probl11488>

References

1. Klimek A., Rogalska J. Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor-Really Detrimental? — Insight into Literature from the Last Decade. *Brain Sci*. 2021; 11(2): 174. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020174>
2. Lizarev A.V. Dynamics of changes of indices of hormonal homeostasis in employees exposed by electromagnetic fields of industrial frequency. *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; (1): 188–190 (in Russian).
3. Bichkaev Ya.I., Petrova T.B., Vlasova O.S. et al. Dynamics of cortisol and insulin contents and carbohydrate metabolism parameters in workers of railway rolling-stock. *Ekol. Chel*. 2009; 7: 51–55 (in Russian).
4. Meerson F.Z. *Adaptation, stress, prevention*. M.: Nauka; 1981 (in Russian).
5. Sokolov Ye.I., Zayev A.P., Khovanskaya T.P., Zhizhina S.A., Petrin S.V., Razin A.S., Filonov V.K. Insulin loading and some hormonal metabolic parameters in patients with the hypothalamic syndrome. *Problemy endokrinologii*. 1995; 41(6): 16–19. <https://doi.org/10.14341/probl11487> (in Russian).
6. Kovyazina N.A., Alkhutova N.A. DHEAS/cortisol index as a marker of stress-induced premature aging. *Klinicheskaya i laboratornaya diagnostika*. 2019; 64(3): 140–144. <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2019-64-3-140-144> (in Russian).
7. Goncharova N.D. Stress responsiveness of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: age-related features of the vasopressinergic regulation. *Frontiers in endocrinology*. 2013; 4: 26. <https://doi.org/10.3389/fendo.2013.00026>
8. Vegiopoulos A., Herzig S. Glucocorticoids, metabolism and metabolic diseases. *Molecular and cellular endocrinology*. 2007; 275(1–2): 43–61.
9. Furduj F.I., Vudu L.F., Chokinje V.K., Furduj V.F., Vudu S.G., Beshetja T.S., Georgiu Z.B. Hormones as inducers and regulators of metabolic, proliferative and physiological processes that determine the state of health. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Ştiinţele vieţii*. 2011; 315(3): 4–15 (in Russian).
10. Levchuk L.A., Biktimirov D.R., Gutkevich E.V., Roshchina O.V., Vasilieva S.N., Kazennykh T.V., Perchatkina O.E., Aksenov M.M. Humoral factors of anabolic and catabolic balance in women with depressive disorders. *Sibirskij vestnik psikiatrii i narkologii*. 2024; 1(122): 18–26. [https://doi.org/10.26617/1810-3111-2024-1\(122\)-18-26](https://doi.org/10.26617/1810-3111-2024-1(122)-18-26) (in Russian).
11. Enina T.N., Petelina T.I., Shirokov N.E., Gorbatenko E.A., Rodionova A.E., Gapon L.I. Association of testosterone levels and oxidative stress activity with 10-year survival in men with cardiac resynchronization therapy. *Vestnik aritmologii*. 2024; 31(1): 14–27. <https://doi.org/10.35336/VA-1215> (in Russian).
12. Kuzmina L.P., Kisljakova 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. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-6-397-402> (in Russian).
13. Tyuzikov I.A. Dehydroepiandrosterone in Men: A Potential Physiological Effects from the Standpoint of Evidence-Based Medicine. *Effektivnaja farmakoterapija*. 2020; 16(20): 44–51 (in Russian) <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2020-16-20-44-51>
14. Alkhutova N.A., Kovyazina N.A., Rybnikov V.Yu. Laboratory markers of premature aging and metabolic syndrome in liquidators of the consequences of the Chernobyl accident. *Medical Alphabet*. 2021; 13: 59–63 (in Russian) <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-13-59-63>
15. Kochetkov Ya.A., Beltikova K.V., Gorobets L.N. Anabolic-catabolic balance in depression: the influence of coxal. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2006; 106(10): 47–51 (in Russian).
16. Kozlov A.I., Kozlova M.A. Cortisol as a stress marker. *Fiziologija cheloveka*. 2014; 40(2): 126 (in Russian).
17. Kisljakova 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://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-292-299> (in Russian)
18. Kislyakova A.A., Khotuleva A.G. Assessment of hormonal and metabolic parameters in workers exposed to magnetic and electric fields of industrial frequency. In the book: *"Zdorov'e i okruzhajushhaja sreda"*. Minsk: Izdatel'skij centr BGU; 2022: 191–196 (in Russian).
19. Bulatov A.A., Makarovskaya Ye.Ye., Marova Ye.I., Melnichenko G.A. Hyperprolactinemia with the predominance of high-molecular immunoreactive prolactin: differences in the regulation of the levels of high-molecular and monomer forms in the blood. *Problemy endokronologii.* 1995; 41(6): 19–23. <https://doi.org/10.14341/probl11488> (in Russian)

Сведения об авторах:

- Кузьмина Людмила Павловна заместитель директора по научной работе, Заслуженный деятель науки РФ, д-р биол. наук, профессор.
E-mail: lpkuzmina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>
- Кислякова Агата Александровна младший научный сотрудник, канд. мед. наук.
E-mail: agat.iwanowa2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7024-6634>
- Анохин Николай Николаевич научный сотрудник, канд. мед. наук.
E-mail: anohinmt@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9891-2790>

About the authors:

- Lyudmila P. Kuzmina Deputy Director for Research, Honored Scientist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Biol.), Professor.
E-mail: lpkuzmina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3186-8024>
- Agata A. Kislyakova Junior Researcher, Cand. Of Sci. (Med.).
E-mail: agat.iwanowa2017@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7024-6634>
- Nikolay N. Anokhin Researcher, Cand of Sci. (Med.).
E-mail: anohinmt@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9891-2790>