



МОДИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ КРЫС В МОДЕЛИ ИШЕМИИ-РЕПЕРФУЗИИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

М.Ю. Раваева^{1,*}, И.В. Черетаев¹, Е.Н. Чуян¹, М.В. Нагорская¹, П.А. Галенко-Ярошевский²,
А.В. Зеленская², И.С. Миронюк¹, Э.Р. Джелдубаева¹

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
295007, Российская Федерация, Республика Крым, Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4

² ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России
350063, Российская Федерация, Краснодарский край, Краснодар, ул. им. Митрофана Седина, 4

В статье представлены результаты исследования показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) у крыс при моделировании ишемии-реперфузии и действии электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ).

Цель исследования — выявить изменения показателей сердечно-сосудистой системы крыс в условиях ишемии-реперфузии и постишемического периода при превентивном воздействии ЭМИ КВЧ. Эксперимент проводили на 30 половозрелых крысах-самцах популяции линий Wistar массой 200–220 г, которые содержались в условиях вивария с естественным свето-темновым циклом. Методом модифицированной блочной рандомизации животных разделили на 3 группы по 10 крыс в каждой: 1-я группа — ложнооперированные (ЛО), которым проводилось оперативное вмешательство в соответствии с планом операции, но без окклюзии левой общей сонной артерии (ОСА); 2-я группа — истинно оперированные (ИО), которым проводилось оперативное вмешательство, и в соответствии с планом операции производилась окклюзия левой общей сонной артерии; 3-я группа (КВЧ) подвергалась превентивному 10-кратному действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ с последующим моделированием ишемии-реперфузии (на 10-е сут, спустя 60 мин после 10-го сеанса КВЧ-воздействия) и окклюзией ОСА.

Показано, что при моделировании ишемии-реперфузии головного мозга наблюдается напряжение физиологических резервов ССС и организма: происходит повышение системного АД, ЧСС, увеличение симпатических влияний на ССС, увеличение энергетических затрат и потребления кислорода кардиомиоцитами. Восстановление показателей ССС до уровня ЛО наблюдается к 3-м сут постишемического периода.

Обнаружено, что превентивное 10-кратное КВЧ-воздействие нивелирует действие ишемии, отражающееся в снижении всех показателей ССС, увеличивает адаптационные возможности организма, ускоряет восстановление в постишемическом периоде, а его физиологические резервы быстрее приспособляются к ишемическому повреждению.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, ишемия-реперфузия, электромагнитное излучение крайне высокой частоты

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-24-00332 «Тканевая микрогемодинамика: механизмы антистрессорного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения».

Для цитирования: Раваева М.Ю., Черетаев И.В., Чуян Е.Н., Нагорская М.В., Галенко-Ярошевский П.А., Зеленская А.В., Миронюк И.С., Джелдубаева Э.Р. Модификация показателей сердечно-сосудистой системы крыс в модели ишемии-реперфузии с помощью электромагнитного излучения крайне высокой частоты. *Биомедицина*. 2024;20(3E):94–106. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-20-3E-94-106>

Поступила 02.08.2024

Принята после доработки 24.08.2024

Опубликована 01.11.2024

MODIFICATION OF RAT CARDIOVASCULAR SYSTEM PARAMETERS IN AN ISCHEMIA-REPERFUSION MODEL USING EXTREMELY HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION

Marina Y. Ravaeva^{1,*}, Igor V. Cheretaev¹, Elena N. Chuyan¹, Mariya V. Nagorskaya¹,
Pavel A. Galenko-Yaroshevskii², Anait V. Zelenskaya², Irina S. Mironyuk¹,
Elviza R. Dzeldubaeva¹

¹ V.I. Vernadsky Crimean Federal University
295007, Russian Federation, Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky Ave., 4

² Kuban State Medical University of the Ministry of Health Care of Russia
350063, Russian Federation, Krasnodar Region, Krasnodar, Mitrofanina Sedina Str., 4

The article presents the results of studying the parameters of the cardiovascular system (CVS) in rats under conditions of ischemic-reperfusion simulation and exposure to electromagnetic radiation of extremely high frequency (EHF EMR). The aim was to identify changes in CVS parameters in rats during the post-ischemic period following preventive EHF exposure.

The experiment was carried out on 30 mature male Wistar rats weighing between 200 and 220 g, which were housed in a vivarium under a natural light-dark schedule. Using a modified block randomization method, the animals were split into three groups with 10 rats in each: group 1 included sham-operated (SO) animals, which underwent surgery according to the operation plan but without occlusion of the left carotid artery; group 2 included truly operated animals who underwent surgery and had the left common carotid occluded (CCO) in accordance with the plan; and group 3 (EHF) included animals that underwent preventive 10-fold action of low-intensity EHF EMR followed by ischemia-reperfusion modelling (on the 10th day, after 60 min after the 10th session of EHF exposure) and OCA occlusion. It is shown that the modelled ischemia-reperfusion of the brain is associated with a strain of the physiological reserves of the CVS and the body as a whole. Thus, an increase in systemic blood pressure, heart rate, sympathetic effects on the CVS, energy costs, and oxygen consumption by cardiomyocytes is observed. Recovery of CVS indicators to the level of SO is observed on the 3rd day after ischemia. It was found that preventive 10-fold exposure to EHF mitigates the effect of ischemia, which is reflected in a decrease in all CVS indicators (except for PP). This increases adaptive capabilities of the body and accelerates recovery in post-ischemia, as well as promotes faster adaptation of physiological reserves to ischemic damage.

Keywords: cardiovascular system, ischemia-reperfusion, electromagnetic radiation of extremely high frequency

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

Funding: the work was carried out within the framework of the RSF project No. 23-24-00332 “Tissue microhemodynamics: mechanisms of the anti-stress action of low-intensity millimeter radiation”.

For citation: Ravaeva M.Y., Cheretaev I.V., Chuyan E.N., Nagorskaya M.V., Galenko-Yaroshevskii P.A., Zelenskaya A.V., Mironyuk I.S., Dzeldubaeva E.R. Modification of Rat Cardiovascular System Parameters in an Ischemia-Reperfusion Model Using Extremely High Frequency Electromagnetic Radiation. *Journal Biomed.* 2024;20(3E):94–106. <https://doi.org/10.33647/2713-0428-20-3E-94-106>

Submitted 02.08.2024

Revised 24.08.2024

Published 01.11.2024

Введение

В наших исследованиях [11–13] показана способность низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (ЭМИ КВЧ) изменять как сосудистые (эндотелиальные, нейрогенные и миогенные), так и внесосудистые (дыхательные и пульсовые) компоненты регуляции микроциркуляции (МЦ). Кроме этого, выраженное вазотропное действие ЭМИ КВЧ оказывает и при действии стресс-факторов разной интенсивности: при остром стрессе 10-кратное действие ЭМИ КВЧ уменьшало выраженность проявлений гиперемии, характерных для острого стресса на протяжении 48 ч после действия стресс-фактора [7], а при хроническом — нивелировало вазоконстрикцию, снижало выраженность нарушений притока и оттока крови в МЦ русле, вызванных стрессом [10, 11].

Вероятно, что и при стрессе, сопровождающем сосудистую катастрофу при моделировании ишемии-реперфузии, ЭМИ КВЧ будет оказывать вазопротекторное действие, причём не только на уровне МЦ, но и на системном уровне. Оценка работы сердечно-сосудистой системы остаётся приоритетом научных исследований в физиологии и медицине и не ограничивается измерениями артериального давления и пульса. Существует ряд индексов и коэффициентов, которые оценивают функциональные возможности жизнеобеспечивающих систем (дыхательной и сердечно-сосудистой).

Цель работы — выявить изменения показателей сердечно-сосудистой системы крыс в условиях ишемии-реперфузии и постшемического периода при превентивном воздействии ЭМИ КВЧ.

Материалы и методы

Экспериментальная часть работы выполнена на кафедре физиологии человека и животных и биофизики в Центре коллективного пользования научным оборудо-

ванием «Экспериментальная физиология и биофизика» Института биохимических технологий, экологии и фармации КФУ им. В.И. Вернадского.

Экспериментальные животные

Эксперимент проводили на 30 половозрелых крысах-самцах популяции линий Wistar массой 220–250 г (ФГУП «Питомник лабораторных животных «Рапполово», Ленинградская обл.), прошедших карантин не менее 14 дней. Животные содержались в условиях вивария с естественным свето-темновым циклом при температуре 18–22°C на подстилке на основе початков кукурузы (ООО «Зилубаг», Россия), со свободным доступом к воде и полноценному гранулированному корму ЛБК-120 (ЗАО «Тосненский комбикормовый завод», Россия). Исследование было выполнено в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и ГОСТ Р 53434-2009 от 02.12.2009 г., правилами лабораторной практики при проведении доклинических исследований и одобрено решением Этического комитета ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского».

Дизайн исследований

Для эксперимента были отобраны животные одинакового возраста, характеризующиеся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте «Открытое поле», которые составляют большинство в популяции. Для проведения отбора использовали 70 половозрелых крыс-самцов Wistar массой 180–200 г. При процедуре отбора животных в «Открытом поле» их поведение тестировали в течение 5 мин в инфракрасном мониторе активности IR Actimeter («PanLab Harvard Apparatus», Испания) с программным обеспечением Actitrack 2.7.13 («PanLab Harvard Apparatus», Испания), используя показатели общей пройденной дистанции, локомоторной активности, средней скоро-

сти перемещений, временных интервалов, проведённых в состоянии полного покоя (фризинг), и в состоянии медленных и быстрых движений, груминга и числа болюсов. Таким образом, было отобрано 30 животных. Через 2 недели после отбора животных выполняли эксперимент по оценке действия 10-кратного ЭМИ КВЧ на показатели ССС.

Такой отбор позволил сформировать однородные группы животных с близкими конституционными особенностями, однонаправленно реагирующими на действие того или иного фактора, и значительно уменьшить количество животных, используемых в эксперименте.

За 1 сут до проведения эксперимента отобранных животных рандомизировали методом модифицированной блочной рандомизации. В одном блоке рандомизации использовали 6 индивидуальных клеток, в которые в случайном порядке рассаживали экспериментальных самцов крыс и присваивали им номера. Таким образом, для формирования трёх групп по 10 крыс необходимо было выполнить 5 заполнений клеток. В программе «Microsoft Office Excel 2019» с помощью генератора случайных чисел формировали 5 столбцов с номерами клеток, соответствующие процедурам заполнения. Затем делили полученную таблицу на строки. Одной группе из 10 животных соответствовало две строки из таблицы с номерами индивидуальных клеток, полученных в ходе пяти заполнений с помощью генератора случайных чисел.

После предварительного отбора животных разделили на три группы по 10 крыс в каждой. Животные первой группы — ложнооперированные (ЛО), которым проводилось оперативное вмешательство в соответствии с планом операции, но без окклюзии левой общей сонной артерии (ОСА). Животные второй группы — истинно оперированные (ИО), которым проводилось оперативное вмешательство, и в соответствии с планом операции про-

изводилась окклюзия левой общей сонной артерии. Животные третьей группы (КВЧ) подвергались превентивному 10-кратному действию низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ с последующим (на 10-е сут, спустя 60 мин после 10-го сеанса КВЧ-воздействия) моделированием ишемии-реперфузии и, соответственно, окклюзией ОСА.

КВЧ-воздействие на животных проводилось 10-кратно, в течение 30 мин ежедневно в утреннее время путём наложения на затылочно-воротниковую область волновода аппарата КВЧ-терапии «КВЧ-НД» (рабочая длина волны — 7,1 мм, плотность потока мощности облучения — 4–6 мВт/см²; производство: ООО «Научно-коммерческая фирма РЭСЛА», Россия; Декларация соответствия № РОСС Ru. ME67.Д00227; Регистрационное удостоверение № ФСР 2007/00763 от 18.09.2007 г.).

При моделировании ишемии-реперфузии животных подвергали искусственной остановке нормального кровообращения в сосудистом русле шейных артерий, что достигалось путём пережатия левой общей сонной артерии (ОСА) с помощью металлической клипсы (ПТО «Медтехника», Россия). Хирургическое вмешательство проводилось при введении внутривентрикулярно анестетиков: Телазол 0,3 мг («Zoetis», США), Медитин 0,8 мг (ООО «АПИ-САН», Россия). Реализацию действия анестезии оценивали по ослабеванию или отсутствию ответной реакции на болевой раздражитель в виде механического повреждения тканей лапы и депрессии нормального рефлекса роговой оболочки глаза. В первый час послеоперационного периода животным вводили 0,2 мл Диклофенак («Хемофарм АД», Сербия).

Регистрация систолического артериального давления (САД, мм рт. ст.), диастолического артериального давления (ДАД, мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) осуществлялась через 30 мин после наложения клипсы на ОСА — период

ишемии; через 30 мин после снятия клипсы — период реперфузии; а также на 2-е, 3-и и 7-е сут после моделирования ишемии — постишемический период.

Показатели АД и ЧСС у крыс регистрировались с помощью системы неинвазивного измерения давления у мелких лабораторных животных NIBP200A («Biorac Systems, Inc.», США). Датчик для измерения АД (мм рт. ст.) и ЧСС (уд./мин) надевался на хвост крысы. Запись и обработка данных производилась на компьютере с помощью программы «Acq Knowledge 4.2 for MP150».

Полученные результаты использовались для расчётов следующих индексов:

Вегетативный индекс Кердо вычисляли по формуле:

$$\text{ВИК} = (1 - \text{ДАД}/\text{ЧСС}) \times 100\% \quad (1),$$

где ВИК — вегетативный индекс Кердо, усл. ед.; ДАД — диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.; ЧСС — частота сердечных сокращений, уд./мин.

Индекс Робинсона вычисляли по формуле:

$$\text{ИР} = \text{ЧСС} \times \text{САД} / 100 \quad (2),$$

где ЧСС — частота сердечных сокращений, уд./мин; САД — систолическое артериальное давление, мм рт. ст.

Коэффициент экономичности кровообращения:

$$\text{КЭК} = (\text{САД} - \text{ДАД}) \times \text{ЧСС} \quad (3),$$

где КЭК — коэффициент экономичности кровообращения, усл. ед.; САД — систолическое артериальное давление, мм рт. ст.; ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений, уд./мин.

Пульсовое давление:

$$\text{ПД} = \text{САД} - \text{ДАД} \quad (4),$$

где ПД — пульсовое давление, мм рт. ст., САД — систолическое артериальное давление, мм рт. ст., ДАД — диастолическое артериальное давление.

Среднее динамическое давление:

$$\text{СДД} = \text{ДАД} - \text{ПД} / 3 \quad (5),$$

где СДД — среднее динамическое давление, мм рт. ст., ДАД — диастолическое артери-

альное давление, ПД — пульсовое давление, мм рт. ст.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием пакета «GraphPad Prizm 9.0». Поскольку распределение экспериментальных значений в группах отличалось от нормального, то оценку достоверности межгрупповых различий проводили с помощью *U*-теста Манна — Уитни. Данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей. В описании динамики результатов использовались %, которые рассчитывались по средним арифметическим значениям соответствующих групп.

Результаты и их обсуждение

Результаты настоящего исследования показали, что моделирование ишемии приводило к изменению показателей ССС (табл. 1). Так, через 30 мин ишемии у животных группы ИО наблюдалось повышение САД на 25,6% ($p < 0,05$), ДАД — на 38,6% ($p < 0,05$), ЧСС — на 66,3% ($p < 0,05$) по отношению к таковому в группе ЛО. При реперфузии данные показатели оставались выше, чем у группы ЛО, причём САД и ДАД не достоверно, а ЧСС — на 28,3% ($p < 0,05$).

Расчёт индексов функционирования ССС показал, что при ишемии увеличилось СДД на 50,2% ($p < 0,05$), ИР — на 108,7% ($p < 0,05$), КЭК — на 57,5% ($p < 0,05$), ВИК — на 6,7% ($p < 0,05$) по сравнению с ЛО. При реперфузии данные показатели незначительно снизились, однако оставались достоверно высокими по сравнению с таковыми в группе ЛО: ИР превышал показатели в группе ЛО на 66,8% ($p < 0,05$), СДД — на 30,4% ($p < 0,05$), а КЭК — на 53,8% ($p < 0,05$).

В постишемическом периоде САД и ДАД незначительно превышали таковые в группе ЛО, а ЧСС оставалась высокой на протяжении 2-х сут (на 24%, $p < 0,05$), однако на 3-и и 7-е сут приближалась к значениям у ложнопериоперированных животных.

Из расчётных показателей только ИР достоверно увеличивался на 33,1% ($p < 0,05$) на 2-е сут постишемического периода.

Таким образом, при ишемии-реперфузии наблюдалось повышение САД, ДАД, ЧСС, СДД, ИР, ВИК, КЭК. В постишемическом периоде ЧСС и ИР превышали значения в группе ЛО на 2-е сут постишемического периода.

Известно [1], что во время оперативного вмешательства или развития ишемии головного мозга наблюдается повышение АД. Причины артериальной гипертензии в остром периоде ишемического инсульта связывают с активацией нейроэндокринных и нейрогенных механизмов регуляции АД, ишемией стволовых структур мозга, госпитальным стрессом и срывом ауторегуляции мозгового кровообращения [1]. Таким образом, гипертензия — адаптивный ответ системы кровообращения на локальную церебральную ишемию. Однако повышение системного давления линейно не связано с внутримозговой гемодинамикой. Множество факторов, таких как ауторегуляция мозгового кровотока, ишемическая ангиопатия, отёк мозга, состояние микроциркуляции, оказывают влияние на кровоснабжение тканей в области ишемического очага. Но именно АД служит наиболее доступным и легко контролируемым маркером гемодинамических нарушений в остром периоде инсульта.

СДД представляет собой давление, при котором в отсутствие пульсовых колебаний наблюдается такой же гемодинамический эффект, как и при естественном колеблющемся давлении крови. Давление в артериях во время диастолы желудочков не падает до нуля, оно поддерживается благодаря упругости артериальных стенок, растянутых во время систолы. Высокие показатели СДД на протяжении 7 сут постишемического периода свидетельствуют о неспособности организма удерживать среднее динамическое давление, что является

одним из ранних признаков нарушения деятельности аппарата кровообращения. Увеличение СДД на фоне незначительного роста АД, полученное в настоящем исследовании, свидетельствует об ослаблении функции сердечно-сосудистой системы организма.

ИР, или двойное произведение, характеризует систолическую работу сердца, являясь показателем регуляторных процессов в миокарде, и позволяет оценивать уровень обменно-энергетических процессов в миокарде и резервные возможности гемодинамики. Резкое увеличение ИР в 1-е сут на 102,2% ($p < 0,0001$) на фоне увеличения КЭК говорит о снижении аэробных возможностей миокарда, нарушениях обменных процессов в миокарде и, в целом, о нарушениях регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы [2, 5, 8].

ИР оставался высоким на протяжении всего постишемического периода, что свидетельствует о низких резервных возможностях системы кровообращения в целом за счёт увеличения работы сердечной мышцы.

ВИК достоверно повышался в течение 30-минутной ишемии, а затем на протяжении всего времени исследования наблюдалась его стабилизация на уровне ЛО. ВИК — один из наиболее распространённых показателей функционального состояния вегетативной нервной системы, отражающий соотношение возбудимости её симпатического и парасимпатического отделов. Его повышение при ишемии свидетельствует о сдвиге в сторону доминирования симпатического компонента регуляции [4], однако при реперфузии и в постишемическом периоде наблюдалось его восстановление до уровня ЛО.

КЭК характеризует затраты организма на передвижение крови в сосудистом русле, показывает, какое количество (объём) крови выталкивается из левого желудочка во время систолы. Значительное увеличение КЭК при ишемии-реперфузии свиде-

тельствует об увеличении энергетических затрат при сокращении сердца и расходовании функциональных резервов сердечно-сосудистой системы. К 7-м сут наблюдается незначительное снижение показателей КЭК, что свидетельствует о некотором восстановлении энергетического баланса.

В целом, вышеописанные процессы приводят к аугментации САД за счёт более быстрого возвращения отражённой пульсовой волны к сердцу в связи с увеличенной жёсткостью артерий, и эта волна накладывается на систолическую фазу давления в сосуде, повышая его, что и наблюдалось в наших исследованиях.

Такое изменение гемодинамики имеет последствия — возрастает постнагрузка на левый желудочек, и повышенное САД начинает оказывать повреждающее действие в периферических органах и тканях, в первую очередь в веществе головного мозга. Поскольку сосудистая сеть головного мозга имеет низкое сопротивление, это делает его уязвимым к повышенному гидростатическому давлению крови в диастолу и создаёт предпосылки к возникновению дополнительных эпизодов ишемии и клинически может усугублять проявления ишемии. Именно такая взаимосвязь системной и церебральной гемодинамики обуславливает гипотензивную терапевтическую стратегию при развитии ишемии и делает актуальным поиск средств, способных оказывать противоишемическое действие и обладать гипотензивным эффектом.

Таким образом, при моделировании ишемии-реперфузии происходит увеличение симпатических влияний на ССС, увеличение энергетических затрат и потребления кислорода кардиомиоцитами. Частичное восстановление показателей ССС до уровня ЛО наблюдается на 3-и сут постишемического периода.

Изменение показателей сердечно-сосудистой системы крыс в условиях ишемии-реперфузии при действии ЭМИ КВЧ

При моделировании ишемии у группы крыс, получавших превентивное 10-кратное КВЧ-воздействие, наблюдалось снижение ДАД на 25,4% ($p < 0,05$), ЧСС — на 39,5% ($p < 0,05$) по сравнению с таковыми группы ИО. Во время реперфузии происходило снижение САД на 18,7% ($p < 0,05$), ДАД — на 21% ($p < 0,05$), а ЧСС — на 26,7% ($p < 0,05$) по сравнению с таковыми в группе ИО. САД на протяжении всего времени исследования были ниже таковых в группе ИО (табл. 1).

Расчёт индексов функционирования ССС у группы КВЧ показал, что СДД во время ишемии снижалось на 31,3% ($p < 0,05$), а во время реперфузии — на 23,3% ($p < 0,05$) по сравнению с группой ИО (табл. 1), ИР снижался на 50,5% ($p < 0,05$) и 40% ($p < 0,05$), а КЭК снижался на 34,8% ($p < 0,05$) и 34,9% ($p < 0,05$) по сравнению с таковыми в группе ИО.

Таким образом, превентивное 10-кратное КВЧ-воздействие у крыс во время моделирования ишемии-реперфузии приводит к изменению реакции организма на повреждение, снижая системное АД, вызывая урежение ЧСС, снижая тонус магистральных сосудов (снижение СДД), уменьшая потребление кислорода сердцем и снижая энергетические затраты организма на продвижение крови в сосудистом русле (снижение ИР и КЭК).

В постишемическом периоде (табл. 2) у крыс наблюдалось снижение АД на протяжении всего времени исследования. Так, САД на 3-и и 7-е сут снижался на 18,5% ($p < 0,05$), 10,5% ($p < 0,05$), а ДАД на 3-и сут снижался на 17,6% ($p < 0,05$), на 7-е сут — на 21% ($p < 0,05$) по отношению к таковым в группе ИО. ЧСС снижалась на 2-е сут на 16,5% ($p < 0,05$) по отношению к таковым в группе ИО.

Расчётные показатели также изменялись. Так, СДД снижалось на 2-е, 3-и и 7-е сут на 17,3% ($p < 0,05$), на 16,8% ($p < 0,05$) и на 29,2% ($p < 0,05$) соответственно по от-

Таблица 1. Показатели сердечно-сосудистой системы у крыс при ишемии-реперфузии
 Table 1. Indicators of the cardiovascular system in rats with ischemia-reperfusion

Период	Группы	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ЧСС, уд./мин	ПД, мм рт. ст.	СДД, мм рт. ст.	ВИК, усл. ед.	ИР, усл. ед.	КЭК, усл. ед.
Ишемия	«ЛО»	129,6 (123,3; 141,6)	94,18 (90,42; 95,42)	345,1 (310,2; 365,4)	38,78 (31,67; 45,96)	74,53 (69,63; 77,64)	73,50 (68,99; 74,69)	428,6 (398,6; 493,7)	11665 (10217; 15496)
	«ИЮ»	163,8 (160,9; 169,3) $p_n=0,0396$	126,9 (125,7; 134,9) $p_n=0,0122$	576,7 (557,4; 579,6) $p_n=0,0001$	34,59 (29,95; 43,31)	109,2 (104,3; 119,9) $p_n=0,0001$	77,41 (76,11; 78,23) $p_n=0,0032$	930,5 (922,8; 966,3) $p_n=0,0001$	19612 (16238; 24295) $p_n=0,0090$
	«КВЧ»	141,9 (115,7; 149,8)	94,91 (90,50; 101,5) $p_n=0,0003$	323,6 (298,5; 409,7) $p_n=0,0001$	42,98 (20,65; 51,60)	81,34 (63,58; 85,18) $p_n=0,0003$	70,75 (66,02; 77,42)	466,6 (384,2; 512,2) $p_n=0,0001$	13258 (8525; 18367) $p_n=0,0136$
Реперфузия	«ЛО»	127,1 (122,9; 131,6)	89,65 (85,05; 93,84)	329,1 (310,2; 347,8)	38,10 (28,07; 44,37)	75,60 (62,71; 78,68)	72,00 (71,05; 74,22)	397,4 (391,7; 442,4)	11119 (9395; 13885)
	«ИЮ»	154,2 (150,8; 159,6)	115,1 (110,1; 116,3)	426,0 (425,0; 471,3) $p_n=0,0054$	42,74 (36,12; 47,59)	94,79 (87,05; 96,86) $p_n=0,0177$	73,07 (72,66; 76,48)	684,3 (648,8; 711,8) $p_n=0,0050$	18784 (15425; 21522) $p_n=0,0068$
	«КВЧ»	125,5 (125,0; 126,7) $p_n=0,0001$	85,48; 93,33 $p_n=0,0002$	343,2 (328,9; 365,7) $p_n=0,0189$	37,04 (32,09; 39,90)	69,01 (65,87; 77,29) $p_n=0,0019$ $p_n=0,0073$	75,08 (72,17; 76,52)	430,1 (411,2; 460,8) $p_n=0,0054$	12910 (10765; 14491) $p_n=0,0295$

Примечание: (здесь и в табл. 2) САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; ПД — пульсовое давление; СДД — пульсовое давление; СДД — вегетативный индекс Кердо; ИР — индекс Робинсона; КЭК — коэффициент экономичности кровообращения. Указаны медиана (25-й; 75-й квартиль), p_n и p_n — достоверные различия по сравнению с ЛО и ИЮ соответственно.
Note: (here and in Table 2) САД — systolic blood pressure; ДАД — diastolic blood pressure; ЧСС — heart rate; ПД — pulse pressure; СДД — average dynamic pressure; ВИК — vegetative index of Kerdo; ИР — Robinson index; КЭК — coefficient of efficiency of blood circulation. The median (25th; 75th quartiles) are indicated. p_n and p_n — significant differences compared to LO and IO, respectively.

Таблица 2. Показатели сердечно-сосудистой системы у крыс в постинишемическом периоде
Table 2. Indicators of the cardiovascular system in rats after ischemia

Период	Группы	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	ЧСС, уд./мин	ПД, мм рт. ст.	СДД, мм рт. ст.	ВИК, усл. ед.	ИР, усл. ед.	КЭК, усл. ед.
2-е сут	«ЛО»	128,1 (125,4; 130,1)	88,16 (85,33; 91,37)	322,5 (310,2; 337,2)	38,42 (36,00; 42,54)	69,44 (64,27; 75,10)	73,15 (70,48; 74,56)	416,8 (395,2; 429,4)	12712 (10763; 13985)
	«ИО»	141,9 (115,7; 149,8)	106,7 (95,09; 110,9)	402,3 (379,6; 423,2) $p_n=0,0003$	30,97 (20,65; 41,13)	86,55 (84,79; 95,83)	73,08 (72,10; 75,30)	556,4 (460,0; 615,5) $p_n=0,0027$	12077 (8335; 16270)
	«КВЧ»	115,7 (112,8; 117,5)	87,84 (86,13; 89,11) $p_n=0,0001$	333,6 (325,3; 339,3) $p_n=0,0167$	28,14 (26,09; 30,15) $p_n=0,0001$	72,90 (71,73; 74,77) $p_n=0,0001$	73,67 (72,91; 74,62)	386,8 (371,4; 394,3) $p_n=0,0001$	9767 (8598; 10020) $p_n=0,0084$
3-и сут	«ЛО»	125,6 (123,5; 128,6)	89,13 (85,49; 92,41)	329,1 (310,2; 340,9)	37,41 (31,19; 41,54)	69,67 (64,95; 75,96)	73,30 (70,91; 74,53)	406,6 (395,2; 424,5)	12730 (9931; 13628)
	«ИО»	145,6 (121,8; 150,2)	97,41 (93,38; 102,4)	341,8 (265,7; 410,2)	46,22 (23,80; 52,48)	80,93 (67,25; 84,95)	69,29 (64,69; 76,48)	520,4 (375,4; 544,4)	13029 (9860; 16590)
	«КВЧ»	111,3 (110,2; 116,3) $p_n=0,0002$	79,04 (76,61; 84,89) $p_n=0,0001$	325,5 (324,1; 328,7)	32,70 (26,83; 38,55)	60,52 (58,11; 71,30) $p_n=0,0056$	74,87 (73,98; 76,43) $p_n=0,0274$	363,3 (356,5; 380,0)	10617 (8715; 12098) $p_n=0,0003$
7-е сут	«ЛО»	127,1 (124,3; 129,4)	88,65 (86,34; 94,92)	322,2 (318,8; 340,2)	38,42 (31,33; 40,25)	69,46 (66,21; 79,25)	72,03 (70,46; 74,62)	416,4 (395,1; 436,5)	12662 (10074; 13667)
	«ИО»	133,6 (125,4; 135,7)	98,56 (95,53; 104,4)	344,0 (329,1; 345,3)	32,25 (19,91; 39,90)	81,99 (75,90; 94,47)	71,39 (68,87; 71,85)	441,7 (420,1; 466,2)	10818 (6699; 13663)
	«КВЧ»	119,8 (111,6; 123,0) $p_n=0,0005$	77,68 (73,23; 83,93) $p_n=0,0001$	271,7 (234,6; 367,5)	38,71 (27,76; 49,87)	60,57 (49,62; 70,11) $p_n=0,0008$	70,76 (65,63; 78,45)	308,8 (284,0; 447,7) $p_n=0,0080$ $p_n=0,0133$	11138 (7451; 16053)

ношению к таковым в группе ИО. ИР также снижался на 29,3% ($p < 0,05$) и на 20% ($p < 0,05$) на 2-е и 7-е сут соответственно по отношению к таковым в группе ИО. ВИК увеличился на 7,4% ($p < 0,05$), а снизился на 3-и сут на 20,5% ($p < 0,05$) по отношению к таковым в группе ИО.

Таким образом, в постишемическом периоде крысы, которым превентивно оказывалось КВЧ-воздействие, демонстрировали более высокие функциональные возможности жизнеобеспечивающей системы — сердечно-сосудистой системы по сравнению с животными с моделированной ишемией.

Снижение САД, ДАД, ЧСС свидетельствует об уменьшении АД, подъём которого всегда сопровождает развитие сосудистых катастроф, таких как ишемия головного мозга. Снижение ИР и СДД отражают восстановление энергетического потенциала организма, уменьшение потребления кислорода сердечной мышцей и усиление функции сердечно-сосудистой системы. Снижение ИР на фоне изменения ВИК и КЭК может свидетельствовать о нормализации не только обменных процессов в кардиомиоцитах, но и иннервации сердечной мышцы, что может проявляться в нормализации её проводимости и, как следствие, увеличении сердечного выброса и снижении ЧСС.

Таким образом, превентивное КВЧ-воздействие нивелировало действие ишемии, что отражалось в снижении всех показателей ССС.

В пользу этого свидетельствуют и результаты сравнительного анализа показателей у животных в группе ЛО и КВЧ. Так, анализ показал отсутствие статистической значимости различий показателей САД, ДАД и ЧСС на протяжении как моделирования ишемии-реперфузии, так и в постишемическом периоде. При этом, на 2-е сут происходит снижение ПД на 29,1% ($p < 0,05$) по сравнению с ЛО, что свидетельствует

об увеличении эластических свойств магистральных артерий (прежде всего, корня и восходящего отдела аорты) и улучшении функции эндотелия [6], а также снижение КЭК (на 2-е сут на 26,1%, $p < 0,05$) и ИР (на 7-е сут, 15,1%, $p < 0,05$), что отражает снижение энергетических затрат и потребления кислорода миокардом, т. е. развивается адаптивная реакция, ведущая к повышению устойчивости к гипоксии и стабилизации уровня энергообеспечения при ишемических повреждениях [3].

В целом, уровни ПД, КЭК и ИР указывают на высокие функциональные возможности сердечно-сосудистой системы животных группы КВЧ не только по сравнению с животными, подвергнутыми ишемии-реперфузии, но и ложнооперированными, без ишемии. Возможно, это обусловлено нормализацией регуляторных систем, под контролем которых находится ССС, таких как гуморальная регуляция и центральная и вегетативная нервная система, и, соответственно, развитием неспецифической резистентности, которая лимитирует развитие стресс-реакции на ишемическое повреждение. Действительно, наши предыдущие исследования показали [9], что при действии ЭМИ КВЧ на интактных животных, а также крыс, подвергнутых действию стресса «иммунной» и «не иммунной» природы, выявлены существенные изменения, происходящие во всех звеньях нейроиммуноэндокринной системы. Эти изменения способствуют подавлению чрезмерной активности симпатно-адреналовой системы, одного из важнейших звеньев стресс-реализующей системы и активизации стресс-лимитирующих систем, увеличению иммунореактивности, неспецифической резистентности, антиоксидантных свойств организма, возникновению Р-эффекта нейтрофилов и лимфоцитов, нормализации системы гемостаза, коррекции поведенческих нарушений и десинхронозов, увеличе-

нию функциональной асимметрии нервной, иммунной и эндокринной систем.

Полученные результаты убедительно свидетельствуют о развитии в организме животных под влиянием КВЧ-излучения устойчивой, обладающей защитными эффектами к последующим повреждающим стресс-факторам адаптации. Явление защитных эффектов перекрёстной адаптации к ЭМИ КВЧ открывает перспективу применения этого физического фактора при лечении ишемии у человека и возможность практического использования низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ в качестве способа повышения естественной (физиологической) резистентности организма к воздействию ишемии, представляющего собой профилактический подход к защите пациента при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, например, при ишемических поражениях головного мозга.

Выводы

1. При моделировании ишемии-реперфузии головного мозга наблюдалось напряжение физиологических резервов сердечно-сосудистой системы и организма в целом: повышение системного артериального давления, частоты сердечных сокращений, увеличение симпатических влияний на сердечно-сосудистую систему, увеличение энергетических затрат и потребления кислорода кардиомиоцитами. Восстановление показателей ССС до уровня ЛО происходило к 3-м сут постишемического периода.

2. Превентивное 10-кратное КВЧ-воздействие нивелировало действие ишемии, что отражалось в модификации всех показателей сердечно-сосудистой системы, увеличении адаптационных резервов организма и ускорении восстановления в постишемическом периоде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Благонравов М.Л., Азова М.М., Фролов В.А., Горячев В.А. Особенности циркадианной динамики АД и ЧСС у спонтанно-гипертензивных крыс. *Вестник РУДН. Серия: Медицина*. 2012;7:47–49. [Blagonravov M.L., Azova M.M., Frolov V.A., Goryachev V.A. Osobennosti tsirkadiannoy dinamiki AD i ChSS u spontanno-gipertenzivnykh kryс [Characteristics of BP and HR circadian dynamics in spontaneously hypertensive rats]. *Vestnik RUDN. Seriya: Meditsina* [RUDN Journal of Medicine]. 2012;7:47–49. (In Russian)].
2. Боярская Л.А., Прокопьева Н.Я., Ананьев В.Н., Августа Е.Н. Изучение хронобиологических показателей индекса Робинсона у женщин с ишемической болезнью сердца в условиях гиподинамии, перенёсших новую коронавирусную инфекцию. *Современные вопросы биомедицины*. 2022;6(2):162–170. [Boyarskaya L.A., Prokop`eva N.Ya., Anan`ev V.N., Avgusta E.N. Izucheniye khronobiologicheskikh pokazatelye indeksa Robinsona u zhenshchin s ishemiyeskoy bolezn'yu serdtsa v usloviyakh gipodinamii, pereneshikh novuyu koronavirusnyu infektsiyu [The study of chronobiological indicators of the Robinson index in women with coronary heart disease in conditions of inactivity who have suffered a new coronavirus infection]. *Sovremennye voprosy biomeditsiny* [Modern Issues of Biomedicine]. 2022;6(2):162–170. (In Russian)]. DOI: 10.51871/2588-0500-2022-06-02-21
3. Зарубина И.В., Шабанов П.Д. От идеи С.П. Боткина о «предвоздействии» до феномена прекондicionирования. Перспективы применения феноменов ишемического и фармакологического прекондicionирования. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2016;1:4–28. [Zarubina I.V., Shabanov P.D. Ot idei S.P. Botkina o «predvozdeystviy» do fenomena prekonditsionirovaniya. Perspektivy primeneniya fenomenov ishemiyeskogo i farmakologicheskogo prekonditsionirovaniya [From S.P. Botkin's idea of “pre-action” to the phenomenon of preconditioning. Prospects for the application of the phenomena of ischemic and pharmacological preconditioning]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii* [Reviews in Clinical Pharmacology and Drug Therapy]. 2016;1:4–28. (In Russian)].
4. Иванова Н.Е. Динамика индекса Кердо в комплексном лечении пациентов с хронической ишемией головного мозга. *Мануальная терапия*. 2011;1:33–37. [Ivanova N.E. Dinamika indeksa Kerdo v kompleksnom lechenii patsientov s khronicheskoy ishemiye golovnogo mozga [Kerdo index dynamics in the complex treatment of patients with chronic cerebral ischemia]. *Manual'naya terapiya* [Manual therapy]. 2011;1:33–37. (In Russian)].
5. Колокольцев М.М., Носов А.В. Характеристика индекса Робинсона у студентов различных функциональных групп и уровней физического здоро-

- вья. *Физическая культура и спорт в структуре профессионального образования: ретроспектива, реальность и будущее. Материалы межведомственного круглого стола. Посвящается 300-летию российской полиции*. Иркутск, 2018:102–107. [Kolokol'cev M.M., Nosov A.V. Kharakteristika indeksa Robinsona u studentov razlichnykh funktsional'nykh grupp i urovnyu fizicheskogo zdorov'ya [Characteristics of the Robinson index among students of various functional groups and levels of physical health]. *Fizicheskaya kul'tura i sport v strukture professional'nogo obrazovaniya: retrospektiva, real'nost' i budushchee. Materialy mezhdovedstvennogo kruglogo stola. Posvyashchaetsya 300-letiyu rossiyskoy politzii [Physical culture and sport in the structure of vocational education: retrospective, reality and future. Dedicated to the 300th anniversary of the Russian police]*. Irkutsk, 2018:102–107. (In Russian)].
6. Остроумова О.Д., Кочетков А.И., Остроумова Т.М. Пульсовое артериальное давление и когнитивные нарушения. *Российский кардиологический журнал*. 2021;26(1):4317. [Ostroumova O.D., Kochetkov A.I., Ostroumova T.M. Pul'sovoe arterial'noe davlenie i kognitivnye narusheniya [Pulse pressure and cognitive impairment]. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal [Russian Journal of Cardiology]*. 2021;26(1):4317. (In Russian)]. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4317
 7. Раваева М.Ю., Чуян Е.Н., Пивоварчук А.В., Колесник В.В. Тканевая микрогемодинамика животных в условиях острого стресса. *Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2018;4(3):151–162. [Ravaeva M.Yu., Chuyan E.N., Pivovarchuk A.V., Kolesnik V.V. Tkanevaya mikrohemodinamika zhiivotnykh v usloviyakh ostrogo stressa [Tissue microhemodynamics animals in conditions of acute stress]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya [Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry]*. 2018;4(3):151–162. (In Russian)].
 8. Семизоров Е.А., Прокопьев Н.Я., Губин Д.Г. Индекс Робинсона у юношей профильных вузов г. Тюмени. *Современный учёный*. 2019;4:155–160. [Semizorov E.A., Prokopiev N.Ya., Gubin D.G. Indeks Robinsona u yunoshey profil'nykh vuzov g. Tyumeni [Robinson index at young men of Tyumen profile universities]. *Sovremennyy uchenyy [A Modern Scientist]*. 2019;4:155–160. (In Russian)].
 9. Чуян Е.Н., Джелдубаева Э.Р. Низкоинтенсивное миллиметровое излучение: нейроиммуноэндокринные механизмы адаптационных реакций. ООО «Издательство Типография «Ариал», 2020. [Chuyan E.N., Dzheldubayeva E.R. *Nizkointensivnoe millimetrovye mekhanizmy adaptatsionnykh reaktsiy [Low-intensity millimeter radiation: neuroimmunoendocrine mechanisms of adaptive reactions]*. Simferopol: ООО «Izdatelstvo Tipografiya «Ariall» Publ., 2020. (In Russian)].
 10. Чуян Е.Н., Раваева М.Ю. Влияние хронического гипокинетического стресса на тканевую микрогемодинамику. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2015;101(3):316–325. [Chuyan E.N., Ravaeva M.Yu. Vliyanie khronicheskogo gipokineticheskogo stressa na tkanevuyu mikrohemodinamiku [Effects of chronic hypokinetic stress on microhemodynamics of tissue]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova [Russian Journal of Physiology]*. 2015;101(3):316–325. (In Russian)].
 11. Чуян Е.Н., Раваева М.Ю. Механизмы вазопротекторного действия электромагнитного излучения крайне высокой частоты в условиях хронического гипокинетического стресса. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2017;3:55–65. [Chuyan E.N., Ravaeva M.Yu. Mekhanizmy vazoprotekornogo deystviya elektromagnitnogo izlucheniya krainye vysokoy chastoty v usloviyakh khronicheskogo gipokineticheskogo stressa [Mechanisms of vasoprotective action of extremely high frequency electromagnetic radiation in conditions of chronic hypokinetic stress]. *Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical Radio Electronics]*. 2017;3:55–65. (In Russian)].
 12. Чуян Е.Н., Раваева М.Ю., Миронок И.С., Джелдубаева Э.Р., Черетаев И.В., Ливенцов С.Ю. Механизмы влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на тканевую микрогемодинамику. *Технологии живых систем*. 2024;21(1):29–45. [Chuyan E.N., Ravaeva M.Yu., Mironyuk I.S., Dzheldubayeva E.R., Cheretaev I.V., Liventsov S.Yu. Mekhanizmy vliyaniya nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya millimetrovogo diapazona na tkanevuyu mikrohemodinamiku [Tissue microhemodynamics: mechanisms of influence of low-intensity electromagnetic radiation of the millimeter range]. *Tekhnologii zhivykh sistem [Technologies of Living Systems]*. 2024;21(1):29–45. (In Russian)]. DOI: 10.18127/j20700997-202401-03
 13. Чуян Е.Н., Трибрат Н.С., Раваева М.Ю., Ананченко М.Н. Тканевая микрогемодинамика: влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2017. [Chuyan E.N., Tribirat N.S., Ravaeva M.Yu., Ananchenko M.N. *Tkanevaya mikrohemodinamika: vliyanie nizkointensivnogo elektromagnitnogo izlucheniya millimetrovogo diapazona [Tissue microhemodynamics: the effect of low-intensity electromagnetic radiation in the millimeter range]*. Simferopol: ООО «Izdatelstvo Tipografiya «Ariall» Publ., 2017. (In Russian)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Раваева Марина Юрьевна*, к.б.н., доц.,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»;

e-mail: ravaevam@yandex.ru

Marina Yu. Ravaeva*, Cand. Sci. (Biol.), Assoc.
Prof., V.I. Vernadsky Crimean Federal University;

e-mail: ravaevam@yandex.ru

Черетаев Игорь Владимирович, к.б.н.,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»;

e-mail: cheretaev86@yandex.ru

Igor V. Cheretaev, Cand. Sci. (Biol.), V.I. Ver-
nadsky Crimean Federal University;

e-mail: cheretaev86@yandex.ru

Чуян Елена Николаевна, д.б.н., проф.,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»;

e-mail: elena-chuyan@rambler.ru

Elena N. Chuyan, Dr. Sci. (Biol.), Prof., V.I. Ver-
nadsky Crimean Federal University;

e-mail: elena-chuyan@rambler.ru

Нагорская Мария Викторовна, ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»;

e-mail: zaygolnikova@mail.ru

Mariya V. Nagorskaya, V.I. Vernadsky Crimean
Federal University;

e-mail: zaygolnikova@mail.ru

Галенко-Ярошевский Павел Александрович,
чл.-корр. РАН, д.м.н., проф., ФГБОУ ВО «Кубан-
ский государственный медицинский универси-
тет» Минздрава России;

e-mail: Galenko.Yarochevsky@gmail.com

Pavel A. Galenko-Yaroshevskii, Corr. Member
of the RAS, Dr. Sci. (Med.), Prof., Kuban State
Medical University of the Ministry of Health Care
of Russia;

e-mail: Galenko.Yarochevsky@gmail.com

Зеленская Анаит Владимировна, к.м.н., доц.,
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный меди-
цинский университет» Минздрава России;

e-mail: anait_06@mail.ru

Anait V. Zelenskaya, Cand. Sci. (Med.),
Assoc. Prof., Kuban State Medical University
of the Ministry of Health Care of Russia;

e-mail: anait_06@mail.ru

Миронюк Ирина Сергеевна, к.б.н., ФГАОУ ВО
«Крымский федеральный университет
им. В.И. Вернадского»;

e-mail: i.mironyuk92@mail.ru

Irina S. Mironyuk, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University;

e-mail: i.mironyuk92@mail.ru

Джелдубаева Эльвиза Рашидовна, к.б.н., доц.,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный универ-
ситет им. В.И. Вернадского»;

e-mail: delviza@mail.ru

Elviza R. Dzeldubaeva, Cand. Sci. (Biol.), Assoc.
Prof., V.I. Vernadsky Crimean Federal University;

e-mail: delviza@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author