

# ВЛИЯНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ МИКРОВОЛН СУБ- И МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ В УСЛОВИЯХ ТКАНЕВОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИШЕМИИ *IN VIVO*

DOI: 10.17691/stm2016.8.3.13

УДК 616-036.82/.85:615.847.5

Поступила 17.05.2016 г.



**А.Г. Полякова**, д.м.н., старший научный сотрудник консультативно-реабилитационного отделения;  
**В.Л. Кузнецова**, к.б.н., научный сотрудник лаборатории биохимии и неотложной диагностики;  
**М.В. Преснякова**, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории биохимии и неотложной диагностики

Приволжский федеральный медицинский исследовательский центр Минздрава России, Н. Новгород, 603155, Верхне-Волжская набережная, 18

Электромагнитное излучение (ЭМИ) с различными частотными спектрами широко внедряется в практическую медицину, что обуславливает дальнейшие исследования его влияния на развитие биохимических эффектов и возможного побочного действия на организм.

**Цель исследования** — оценка влияния курсового воздействия микроволн нетепловой интенсивности с различными широкополосными частотными диапазонами на параметры метаболического статуса животных в условиях экспериментальной ишемии кожного лоскута.

**Материалы и методы.** У крыс-самцов линии Wistar изучено изменение площади некроза дистальной части ишемизированного дорсального кожного лоскута и основных биохимических показателей в послеоперационном периоде на фоне облучения зоны затылочного бугра в диапазоне частот 53–78 и 110–170 ГГц.

**Результаты.** Наиболее выраженный сосудистый эффект зарегистрирован при воздействии ЭМИ 110–170 ГГц, в диапазоне которого располагаются спектры оксида азота и кислорода, что проявилось наименьшей зоной ишемии и некроза в лоскуте по сравнению с контрольной группой оперированных животных. У животных, не получавших облучения, после операции установлено повышение содержания глюкозы и общего холестерина, а также концентрации мочевины по сравнению с животными контрольной группы. Наиболее значимое гомеостазирующее действие на показатели биохимического метаболизма (общего билирубина, мочевины, общего холестерина и глюкозы) зарегистрировано при воздействии ЭМИ 53–78 ГГц.

**Заключение.** Воздействие микроволнами суб- и миллиметрового диапазонов в шумовом режиме излучения исполняет роль управляющих сигналов в развитии биологических эффектов в организме. О безопасности использования микроволнового облучения свидетельствует отсутствие отрицательного побочного действия на организм экспериментальных животных.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение; оксид азота; биохимический метаболизм; терагерцевый диапазон; тканевая ишемия.

**Как цитировать:** Polyakova A.G., Kuzneczova V.L., Presnyakova M.V. The impact of broadband microwaves of sub- and millimeter range on biochemical metabolism in experimental ischemia *in vivo*. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2016; 8(3): 112–119, <http://dx.doi.org/10.17691/stm2016.8.3.13>

## English

## The Impact of Broadband Microwaves of Sub- and Millimeter Range on Biochemical Metabolism in Experimental Tissue Ischemia *in vivo*

**A.G. Polyakova**, MD, DSc, Senior Researcher, Rehabilitation Department;  
**V.L. Kuzneczova**, PhD, Researcher, Biochemistry and Emergency Diagnostics Laboratory;  
**M.V. Presnyakova**, PhD, Senior Researcher, Biochemistry and Emergency Diagnostics Laboratory

Для контактов: Полякова Алла Георгиевна, e-mail: [ag.polyakova@yandex.ru](mailto:ag.polyakova@yandex.ru)

Privolzhsky Federal Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation,  
18 Verkhne-Volzhskaya naberezhnaya, Nizhny Novgorod, 603155, Russian Federation

Electromagnetic radiation (EMR) with various frequency spectra are extensively implemented in practical medicine that determines further experimental studies of the impact on the development of biochemical effects and possible side effects on the body.

**The aim of the investigation** was to assess the effect of a course of non-thermal microwaves with different broadband frequency ranges on the parameters of the metabolic status of animals in experimental ischemia of a skin flap.

**Materials and Methods.** We studied the change of necrosis area of distal ischemic dorsal skin flap and the main biochemical indicators in Wistar male rats in the postoperative period, their occipital prominence being exposed to the irradiation in the range 53–78 and 110–170 GHz.

**Results.** The most pronounced vascular effect was recorded when exposed to EMR 110–170 GHz, in this range there are spectra of nitric oxide and oxygen, with the smallest ischemic and necrotic area in a flap compared to the control group of operated animals. The unexposed animals after surgery were found to have high blood glucose and total cholesterol, as well as the elevated concentration of urea in comparison with control animals. The most significant homeostatic effect on biochemical metabolism indices (total bilirubin, urea, total cholesterol and glucose) was recorded under the influence of EMR 53–78 GHz.

**Conclusion.** The exposure of microwaves of sub- and millimeter range in noise radiation mode plays the role of control signals to develop biological effects in the body. No side effects on the body of experimental animals indicates the safe use of microwave exposure.

**Key words:** electromagnetic radiation; nitric oxide; biochemical metabolism; terahertz band; tissue ischemia.

Развитие тканевой ишемии сопровождается выраженными нарушениями метаболического статуса, что является одной из ведущих причин неудовлетворительных исходов реконструктивно-восстановительного лечения. В качестве современного лечебного корригирующего физического фактора применяют низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) субмиллиметрового (терагерцевого) и миллиметрового (крайне высокочастотного — КВЧ) диапазонов [1, 2].

Уникальность ЭМИ 30 ГГц–10 ТГц заключается в том, что этот диапазон, задерживаясь в плотных слоях атмосферы, не действует из космоса на биообъекты, чем обусловлено отсутствие адаптации к нему [3]. В то же время живые организмы сами генерируют микроволны и применяют этот «безпомеховый диапазон» в процессе межклеточных взаимодействий [4]. Отличительной особенностью ЭМИ данного диапазона частот является содержание в нем частотных молекулярных спектров излучения и поглощения (МСИП) эндогенных биорегуляторов (молекул-метаболитов): NO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, OH<sup>-</sup> и других, а также частот межуровневых переходов больших органических молекул: ДНК, белка и других, что гипотетически должно повышать эффективность корригирующего воздействия [5, 6].

Один из механизмов лечебных эффектов терагерцевой терапии связывают с оксидом азота, который является вторичным мессенджером, вовлеченным во множество пато- и физиологических процессов (вазодилатацию, нейротрансмиссию, гемокоагуляцию, перекисное окисление липидов, а также регуляцию тонуса гладких мышц, репаративную регенерацию и т.д.), что проявляется развитием полифункционального, системного влияния на организм [7–9].

Последние исследования в области нетепловых (информационных) взаимодействий низкоинтенсивных микроволн с организмом позволяют сделать вы-

вод о преимуществах использования шумовых широкополосных частотных диапазонов, которые влияют на структурные превращения больших органических молекул (усиливают образование петель в структуре ДНК), что может напрямую менять ход биохимических реакций в развитии метаболических эффектов [10, 11]. Есть мнение, что реакционная способность молекул, возбужденных терагерцевым квантом, на порядок выше, чем при возбуждении КВЧ-диапазоном [12].

Однако основным недостатком ЭМИ является возможность развития побочных эффектов и осложнений при использовании неадекватных частотно-энергетических параметров излучения, что может привести к угнетению физиологических реакций — вызывать не только дисфункциональные, но и деструктивные нарушения [13, 14]. Данный факт побуждает к проведению дальнейших научно-исследовательских работ для выяснения механизма действия и выбора наиболее безопасного режима излучения при разработке реабилитационных методов микроволновой терапии.

**Цель исследования** — сравнительная оценка влияния курсового воздействия микроволн нетепловой интенсивности с различными широкополосными частотными диапазонами на параметры метаболического статуса животных в условиях экспериментальной ишемии кожного лоскута.

**Материалы и методы.** Исследования проводили *in vivo* на 32 белых крысах-самцах линии Wistar массой 350–400 г. Все животные содержались в стандартных условиях вивария, в клетках, при свободном доступе к пище и воде, на рационе питания согласно нормативам ГОСТа «Содержание экспериментальных животных в питомниках НИИ» [15]. Нарушения микроциркуляции моделировали с помощью модифицированной методики выкраивания дорсального кожного лоскута. Это приводило к возникновению острого нарушения кровообращения в его дистальной части.

Эксперименты проводили в соответствии с этическими принципами, установленными Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (принята в Страсбурге 18.03.1986 г. и подтверждена в Страсбурге 15.06.2006 г.).

В ходе исследования были сформированы четыре группы животных. Контрольная группа состояла из интактных крыс ( $n=8$ ). Остальным животным после выщипывания волосяного покрова было осуществлено оперативное вмешательство под внутримышечным наркозом (Золетил + Ксила). На спинке крыс выкраивали кожный лоскут на питающей ножке с осевым типом кровообращения, который фиксировали атраumaticкими швами. Это приводило к возникновению острой ишемии с образованием некроза в дистальной части лоскута, что позволяло использовать данную модель для изучения как положительного, так и отрицательного влияния физических факторов на «выживаемость» лоскута.

В послеоперационном периоде крыс распределяли на три опытные группы сравнения. В 1-й группе ( $n=8$ ) после операции животные оставались под наблюдением, не получая каких-либо лечебных процедур. Крысам двух других опытных групп в течение 7 дней проводили курсовое 10-минутное воздействие ЭМИ с дозой 0,06 мДж на зону затылочного бугра рядом с основанием лоскута, где расположена проекция центра вегетативной регуляции, ответственного за развитие адаптационных реакций [16].

Животные, вошедшие во 2-ю группу ( $n=7$ ), получали облучение ЭМИ с диапазоном частот 110–170 ГГц, в котором присутствуют МСИП оксида азота и кислорода. В 3-й группе ( $n=9$ ) крысы получали аналогичное воздействие ЭМИ с частотным диапазоном 53–78 ГГц, где отсутствуют МСИП молекул-метаболитов.

Содержание животных после операционного вмешательства было одиночным. Данные клинического осмотра крыс фиксировали перед операцией, после нее, на 3-и и 7-е сутки облучения под контролем фотоархивирования. Площадь ишемических нарушений регистрировали с помощью наложения прозрачного разлинованного трафарета. Контроль динамики микроциркуляции в оперированном лоскуте осуществляли по данным тепловизионного (ТВ) метода с помощью тепловизора Thermo Tracer TH-9100 WR (NEC, Япония) и лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) на лазерном анализаторе кровотока ЛАКК-М (НПП «Лазма», Россия). Наблюдение продолжалось до 10 сут после оперативного вмешательства, когда окончательно формировалась зона некроза с четкой линией демаркации.

В качестве источника низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ использовали серийно выпускаемый аппарат «АМФИТ-0, 2/10-01» с шумовым ЭМИ 53–78 ГГц (ООО «ФизТех», Н. Новгород, Россия), а также экспериментальную модель, разработанную на его основе, с диапазоном частот 110–170 ГГц. По уровню мощности

(1 мВт) и спектру сигнала генераторы приборов близки к собственным излучениям биообъекта, что резко снижает вероятность как близких, так и отдаленных побочных эффектов. Спектральная плотность мощности шума прибора ( $4 \cdot 10^{-17}$  Вт/Гц) характеризуется высокой однородностью ( $\pm 3$  дБ) и обеспечивает терапевтически значимый уровень сигнала на всех резонансных частотах биообъекта, что предполагает большую повторяемость и однозначность трактовки результатов воздействия [17]. В работе использовали цилиндрическую насадку аппарата таким образом, чтобы расстояние между концом волновода и объектом составляло 2–5 мм.

Забор крови для исследования показателей метаболизма осуществляли на 14-е сутки, когда началось отторжение некрозов; животных под наркозом путем декапитации выводили из эксперимента. Биохимическую оценку возможного неблагоприятного действия изучаемых физических факторов на организм проводили с применением методов клинической химии, данные которых официально признаны в качестве критериев токсических и повреждающих воздействий [18]. Определение метаболических параметров глюкозы, общего билирубина, мочевины, креатинина, общего белка, альбуминов, холестерина, АСТ, АЛТ и щелочной фосфатазы осуществляли на автоматическом анализаторе ILAB 650 (Instrumentation Laboratory, США).

Статистический анализ выполняли с применением программы Statistica 6.0 (StatSoft, Inc., США). Количественные данные описаны с помощью медианы, первого и третьего квартилей  $Me [Q1; Q3]$ . Сравнение независимых переменных проведено по U-критерию Манна–Уитни. Результаты считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** В ходе ранее проведенных исследований мы выяснили, что ЭМИ КВЧ- и терагерцевого диапазонов оказывает существенный дозозависимый эффект на процесс перекисного окисления липидов и тканевой кровотоков [19, 20].

После оперативного вмешательства у животных 1-й группы окончательная зона краевого некроза в среднем составляла 46,5% площади лоскута. У крыс 2-й и 3-й опытных групп, получавших в послеоперационном периоде воздействие ЭМИ терагерцевого и КВЧ-диапазона волн, зоны некроза оказались сравнимы и составили 26,3 и 31% соответственно. Данные клинического осмотра совпали с показателями ЛДФ и тепловидения, что подтверждает влияние микроволн на сосудистое звено микроциркуляции.

Анализ процесса биохимической адаптации к условиям экспериментальной ишемии выявил изменения основных показателей метаболического статуса у крыс из разных групп, которые различались как между собой, так и по сравнению с контролем.

Операционный стресс повлек за собой существенные сдвиги в содержании продуктов метаболизма, участвующих в энергетическом обмене у всех живот-

ных. У крыс 1-й группы концентрация глюкозы и общего холестерина в послеоперационном периоде оказалась статистически значимо выше (почти вдвое) по сравнению с интактными крысами (табл. 1).

Это может быть связано с тем, что травматическое повреждение тканей стимулирует выделение гормонов стресса — глюкокортикоидов (ГКС). А одно из их основных действий заключается в стимуляции глюконеогенеза, конечным итогом которого является развитие гипергликемии [21].

Установлено, что содержание общего холестерина в 1-й и 2-й группах было выше, чем в контроле. Известно, что после оперативного вмешательства в результате повреждения тканей развивается энергетический дефицит, липидам при этом отводится особая роль, так как холестерин используется в организме в качестве структурного и пластического материала для построения клеточных мембран. Вероятно, его повышение связано с активацией глюконеогенеза, действие которого направлено на использование в качестве источника энергии продуктов липидного обмена [22, 23].

После курса облучения у крыс 3-й группы, получавших воздействие ЭМИ 53–78 ГГц, содержание глю-

козы и общего холестерина оказалось статистически значимо ниже (сравнимо с контролем) аналогичных показателей в сыворотке крови животных из 1-й и 2-й групп, что может свидетельствовать о гомеостазирующем влиянии ЭМИ КВЧ-диапазона на показатели энергетического обмена.

Отмечено, что в 1-й и 2-й группах содержание общего билирубина было ниже, чем в контрольной группе. Возможно, кровотечение в результате оперативного вмешательства вызвало снижение концентрации пигмента в сыворотке крови из-за малого содержания эритроцитов [24], что, соответственно, привело к уменьшению их разрушения. У экспериментальных животных под действием КВЧ-терапии концентрация билирубина после операции восстановилась до нормы.

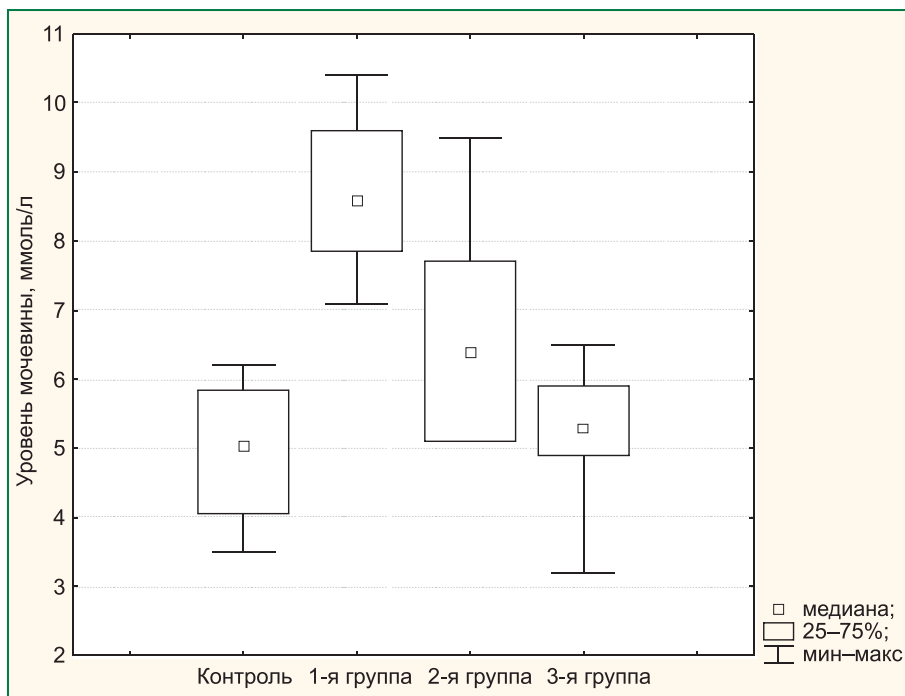
Существенное увеличение показателя мочевины (см. рисунок) у животных 1-й группы, по-видимому, следует рассматривать как реакцию адаптации на операционный стресс, протекающую на фоне деструктивных и воспалительных процессов, что связано с детоксикацией избыточного количества свободного аммиака — конечного продукта обмена белков и аминокислот [25]. При этом установлено, что у крыс 2-й и

Таблица 1

**Сравнительный анализ биохимических показателей в группах (Ме [Q1; Q3])**

Анализируемые показатели	Контроль — интактные животные (n=8)	1-я группа — без облучения (n=8)	2-я группа — 110–170 ГГц (n=7)	3-я группа — 53–78 ГГц (n=9)
Глюкоза, ммоль/л	13,30 [12,00; 16,65]	24,0 [22,55; 24,90] $p_1 < 0,001$	22,50 [2,20; 22,60] $p_2 < 0,001$ $p_4 > 0,5$	19,70 [19,60; 20,40] $p_3 < 0,02$ $p_5 < 0,001$ $p_6 < 0,001$
Мочевина, ммоль/л	5,05 [4,05; 5,85]	8,60 [7,85; 9,60] $p_1 < 0,001$	6,40 [5,10; 7,70] $p_2 > 0,05$ $p_4 < 0,02$	5,30 [4,90; 5,90] $p_3 > 0,2$ $p_5 < 0,05$ $p_6 > 0,05$
Креатинин, мкмоль/л	66,85 [64,90; 68,65]	62,95 [59,95; 66,50] $p_1 > 0,05$	55,80 [55,20; 60,70] $p_2 < 0,001$ $p_4 < 0,01$	68,50 [67,10; 69,40] $p_3 > 0,2$ $p_5 < 0,05$ $p_6 < 0,001$
Общий билирубин, мкмоль/л	1,63 [1,570; 1,830]	0,90 [0,755; 1,120] $p_1 < 0,02$	1,09 [1,00; 1,32] $p_2 < 0,01$ $p_4 > 0,1$	1,67 [1,565; 2,070] $p_3 > 0,2$ $p_5 < 0,001$ $p_6 < 0,001$
Общий холестерин, ммоль/л	1,55 [1,350; 1,700]	2,60 [2,10; 2,90] $p_1 < 0,02$	2,10 [1,90; 3,10] $p_2 < 0,01$ $p_4 > 0,5$	1,70 [1,60; 1,90] $p_3 > 0,1$ $p_5 < 0,01$ $p_6 < 0,01$

Примечание.  $p_1$  — статистическая значимость различий анализируемых параметров в контроле и 1-й группе;  $p_2$  — в контроле и 2-й группе;  $p_3$  — в контроле и 3-й группе;  $p_4$  — в 1-й и 2-й группах;  $p_5$  — в 1-й и 3-й группах;  $p_6$  — во 2-й и 3-й группах.



Показатели мочевины в разных группах животных после операции

3-й групп, получавших облучение ЭМИ терагерцевого и КВЧ-диапазона частот, содержание мочевины в процессе курсового лечения микроволнами снизилось по сравнению с животными 1-й группы. Это подтверждает антиоксидеский и противовоспалительный эффект микроволн (особенно ЭМИ КВЧ-диапазона).

В ходе исследования выявлено, что концентрация креатинина в 1-й и 3-й опытных группах статистически значимо не отличалась от значений в контрольной группе, в то время как у животных 2-й группы она была ниже. По-видимому, это связано с присутствием в диапазоне частот 110–170 ГГц МСИП оксида азота, в синтезе которого, как и в синтезе креатинина участвует одна и та же аминокислота — аргинин [26]. По мнению авторов [27], снижение креатинина у животных 2-й группы может быть связано с дефицитом данной аминокислоты.

На фоне воздействия ЭМИ терагерцевого диапазона в сыворотке крови животных 2-й группы отмечено также снижение концентрации общего белка и альбуминов (табл. 2), что может быть связано с повышенным распадом белка для возмещения больших энергетических затрат из-за дефицита пластических ресурсов в организме экспериментальных животных [28].

Зарегистрированы статистически значимое снижение показателя АЛТ у животных, получивших облучение ЭМИ КВЧ, а также аналогичная тенденция у животных, подвергнутых воздействию ЭМИ терагерцевого диапазона, по сравнению с 1-й и контрольной группами. Известно, что микроволны влияют на клеточные мембраны, что приводит к их структурным и

функциональным изменениям [29, 30]. Электромагнитные миллиметровые волны делают более упорядоченным расположение молекул липидов в клеточной мембране, увеличивая силу гидрофобных взаимодействий как между липидами, так и липид-белковыми комплексами, что приводит к повышению устойчивости мембраны. Следует предположить, что полученный результат связан со снижением мембранной проницаемости, препятствующей выходу фермента в кровяное русло под действием КВЧ-облучения.

Результаты облучения центра вегетативной регуляции животных низкоинтенсивным широкополосным ЭМИ суб- и миллиметрового диапазонов показали, что микроволновое воздействие положительно сказывается на восстановлении

гомеостаза, нарушенного в результате операционного стресса, которое происходит в рамках общего адаптационного синдрома. Учитывая, что симпатическая нервная система обеспечивает быструю мобилизацию энергетических ресурсов и активирует функциональные ответы на раздражитель, а парасимпатическая — корректирует и поддерживает гомеостаз, обеспечивая резервы для аварийной регуляции, можно заключить, что при действии низкоинтенсивных микроволн на организм активизируется как эрготропная, так и трофотропная регуляция функций.

Сравнительный анализ эффективности воздействия ЭМИ изучаемых диапазонов в условиях экспериментальной ишемии продемонстрировал преимущественное влияние ЭМИ 110–170 ГГц, в диапазоне которого содержатся МСИП кислорода и оксида азота, на сосудистое звено микроциркуляции, что подтверждается более выраженным сокращением площади некроза кожного лоскута. В отношении метаболической коррекции полученные результаты не позволяют прийти к однозначному выводу о предпочтении того или иного диапазона.

В группе животных, облучавшихся ЭМИ 53–78 ГГц, отмечено более выраженное гомеостазизирующее влияние с восстановлением в послеоперационном периоде исходного уровня биохимических показателей (общего билирубина, мочевины, общего холестерина) и тенденцией к нормализации уровня глюкозы.

Отрицательного влияния на состояние тканевого кровотока и биохимических показателей со стороны действия изучаемых физических факторов не обнаружено.

Т а б л и ц а 2

Содержание показателей белкового обмена в группах (Ме [Q1; Q3])

Анализируемые показатели	Контроль — интактные животные (n=8)	1-я группа — без облучения (n=8)	2-я группа — 110–170 ГГц (n=7)	3-я группа — 53–78 ГГц (n=9)
Общий белок, г/л	63,8 [61,10; 68,55]	62,6 [59,75; 64,95] $p_1 > 0,2$	59,0 [56,2; 60,0] $p_2 < 0,01$ $p_4 < 0,05$	63,0 [60,3; 65,0] $p_3 > 0,5$ $p_5 > 0,5$ $p_6 < 0,01$
Альбумины, г/л	23,9 [22,70; 25,95]	22,7 [22,10; 25,10] $p_1 > 0,2$	20,3 [19,7; 22,4] $p_2 < 0,01$ $p_4 > 0,05$	22,7 [20,80; 23,80] $p_3 > 0,2$ $p_5 > 0,2$ $p_6 > 0,2$
Глобулины, г/л	39,8 [37,30; 43,60]	38,9 [37,35; 41,50] $p_1 > 0,5$	36,4 [35,8; 40,4] $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,2$	41,3 [39,20; 41,80] $p_3 > 0,5$ $p_5 > 0,2$ $p_6 > 0,05$
АСТ, ед./л	157,1 [121,9; 169,8]	148,5 [138,8; 203,2] $p_1 > 0,2$	189,6 [149,3; 228,9] $p_2 > 0,2$ $p_4 > 0,2$	146,5 [106,8; 164,4] $p_3 > 0,2$ $p_5 > 0,2$ $p_6 > 0,05$
АЛТ, ед./л	72,7 [59,8; 85,5]	81,1 [56,6; 88,8] $p_1 > 0,2$	61,2 [57,9; 75,7] $p_2 > 0,2$ $p_4 > 0,2$	53,1 [50,3; 59,0] $p_3 < 0,01$ $p_5 < 0,01$ $p_6 > 0,05$

П р и м е ч а н и е.  $p_1$  — статистическая значимость различий анализируемых параметров в контроле и 1-й группе;  $p_2$  — в контроле и 2-й группе;  $p_3$  — в контроле и 3-й группе;  $p_4$  — в 1-й и 2-й группах;  $p_5$  — в 1-й и 3-й группах;  $p_6$  — во 2-й и 3-й группах.

**Заключение.** Воздействие микроволнами суб- и миллиметрового диапазонов в шумовом режиме излучения исполняет роль управляющих сигналов в развитии биологических эффектов в организме. О безопасности использования микроволнового облучения свидетельствует отсутствие отрицательного побочного действия на организм экспериментальных животных.

**Финансирование исследования и конфликт интересов.** Исследование не финансировалось какими-либо источниками, и конфликты интересов, связанные с данным исследованием, отсутствуют.

#### Литература/References

1. Пономаренко Г.Н. Инновационные восстановительные технологии. Курортные ведомости 2010; 5(62): 15–18. Ponomarenko G.N. Innovative restoration technology. *Kurortnye vedomosti* 2010; 5(62): 15–18.
2. Истомина И.С. КВЧ-терапия в клинической практике (Часть II). Физиотерапия, бальнеология и реабилитация 2012; 6: 38–45. Istomina I.S. ENF therapy in clinical practice

(Part II). *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya* 2012; 6: 38–45.

3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 4. Волны. Оптика. СПб: Лань; 2011; 256 с. Savel'ev I.V. *Kurs obshchey fiziki. T. 4. Volny. Optika* [The course of general physics. Vol. 4. Waves. Optics]. Saint Petersburg: Lan'; 2011; 256 p.

4. Кулипанов Г.Н. Генерация и использование терагерцового излучения: история и перспективы. Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика 2010; 5(4): 24–27. Kulipanov G.N. Generation and application of terahertz radiation: history and perspective. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fizika* 2010; 5(4): 24–27

5. Ramundo Orlando A., Gallerano G.P. Terahertz radiation effects and biological applications. *J Infrared Milli Terahz Waves* 2009; 30(12): 1308–1318, <http://dx.doi.org/10.1007/s10762-009-9561-z>.

6. Федоров В.И. Исследование биологических эффектов электромагнитного излучения субмиллиметровой части терагерцового диапазона. Биомедицинская радиоэлектроника 2011; 2: 17–27. Fedorov V.I. Study of biological effects of electromagnetic radiation of submillimeter part of terahertz range. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2011; 2: 17–27.

7. Паршина С.С., Афанасьева Т.Н., Тупикин В.Д. Биологические эффекты оксида азота в развитии сердечно-сосудистой патологии как основа применения терагерцевой терапии. Бюллетень медицинских интернет-конференций 2012; 2(6): 446–452. Parshina S.S., Afanas'eva T.N., Tupikin V.D. Biological effects of nitrogen oxide in cardiovascular pathology development as the basis of terahertz therapy application. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy* 2012; 2(6): 446–452.
8. Гапеев А.Б. Исследование механизмов биологического действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высоких частот: успехи, проблемы и перспективы. Биомедицинская радиоэлектроника 2014; 6: 20–30. Gapeyev A.B. Study of the mechanisms of biological effects of low-intensity extremely high-frequency electromagnetic radiation: progress, problems and prospects. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2014; 6: 20–30.
9. Иванов А.Н. Регуляторные эффекты волн терагерцового диапазона частот. Бюллетень медицинских интернет-конференций 2012; 2(6): 392–399. Ivanov A.N. Regulatory effects of wave terahertz frequencies. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy* 2012; 2(6): 392–399.
10. Богомолова Н.В., Дулатов Р.М., Киреев С.И., Киричук В.Ф., Креницкий А.П. Комплексное экспериментальное и клиническое исследование эффективности КВЧ-терапии на частотах оксида азота в восстановительном лечении пациентов с переломами костей. Вестник новых медицинских технологий 2010; 17(1): 107–110. Bogomolova N.V., Dulatov R.M., Kireev S.I., Kirichuk V.F., Krenitskiy A.P. Complex experimental and clinical investigation of the effectiveness of electromagnetic radiation therapy of terahertz range at the frequencies of molecular spectrum of nitric oxide in rehabilitation of patients with bone fractures. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* 2010; 17(1): 107–110.
11. Цуркан М.В., Собакинская Е.А., Смолянская О.А., Беспалов В.Г., Вакс В.Л., Балбекин Н.С. Исследование спектра молекулы ДНК в терагерцовой области частот. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2012; 1(77): 15–19. Tsurkan M.V., Sobakinskaya E.A., Smolyanskaya O.A., Bepalov V.G., Vaks V.L., Balbekin N.S. Spectrum research of DNA molecule in the terahertz frequency domain. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* 2012; 1(77): 15–19.
12. Цымбал А.А., Киричук В.Ф., Креницкий А.П., Бецкий О.В. Восстановление основных показателей метаболического статуса терагерцевыми волнами на частотах оксида азота 150,176 ... 150,664 ГГц в условиях эксперимента. Биомедицинская радиоэлектроника 2011; 1: 30–35. Tsybmal A.A., Kirichuk V.F., Krenitskiy A.P., Betskiy O.V. Restoration of the main indicators of the metabolic status of terahertz waves at frequencies of nitric oxide 150.176 ... 150.664 GHz in the experiment. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2011; 1: 30–35.
13. Казаринов К.Д. Биологические эффекты электромагнитного поля терагерцового диапазона. Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника 2009; 503(4): 48–58. Kazarinov K.D. The biological effects of the electromagnetic field in the terahertz range. *Elektronnaya tekhnika. Seriya 1: SVCh-tekhnika* 2009; 503(4): 48–58.
14. Рыбалко С.Ю., Яценко С.Г., Колбасин П.Н. Мониторинг влияния низкоинтенсивных электромагнитных излучений и морфофункциональные изменения эритроцитов крови человека. Таврический медико-биологический вестник 2013; 16(1–2): 170–173. Rybalko S.Y., Yashchenko S.G., Kolbasin P.N. Monitoring effects of the low-intensity electromagnetic radiation and morphological changes of human blood erythrocytes. *Tavricheskiy mediko-biologicheskii vestnik* 2013; 16(1–2): 170–173.
15. Плосконос М.В. Влияние миллиметрового электромагнитного излучения низкой интенсивности на процесс апоптоза мужских половых клеток. Успехи современного естествознания 2015; 1–6: 974–976. Ploskonos M.V. Influence of millimeter electromagnetic radiation of low intensity on apoptosis of male germ cells. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* 2015; 1–6: 974–976.
16. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях. Под ред. Каркищенко Н.Н., Грачева С.В. М: Профиль 2С; 2010; 358 с. *Rukovodstvo po laboratornym zhitvotnym i al'ternativnym modelyam v biomeditsinskikh issledovaniyakh* [Guidelines on laboratory animals and alternative models in biomedical studies]. Pod red. Karkishchenko N.N., Gracheva S.V. [Karkishchenko N.N., Grachev S.V. (editors)]. Moscow: Profil' – 2S; 2010; 358 p.
17. Крылов В.Н. Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ-диапазона на некоторые показатели гомеостаза животных. Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. Серия: Биология 2003; 1(6): 14–24. Krylov V.N. The effect of low-intensity EMP extremely high-frequency band on some homeostasis indices in animals. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. Lobachevskogo. Seriya: Biologiya* 2003; 1(6): 14–24.
18. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н., Яременко Ю.Г. Аппаратура для КВЧ-терапии. Радиотехника 2007; 3: 4–15. Betskiy O.V., Lebedeva N.N., Yaremenko Yu.G. Equipment for EHF-therapy. *Radiotekhnika* 2007; 3: 4–15.
19. Клиническая лабораторная диагностика (методы и трактовка лабораторных исследований). Под ред. Камышниковой В.С. М: МЕД-пресс-информ; 2015; 720 с. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika (metody i traktovka laboratornykh issledovaniy)* [Clinical laboratory diagnostics (techniques and interpretation of laboratory investigations)]. Pod red. Kamyshnikova V.S. [Kamyshnikov V.S. (edior)]. Moscow: MED-press-inform; 2015; 720 p.
20. Полякова А.Г., Соловьева А.Г., Сазонова И.Е., Захарова Д.В. Влияние электромагнитного излучения крайне высоких частот на про- и антиоксидантный статус крови в эксперименте. Биофизика 2016; 61(1): 131–137. Polyakova A.G., Soloveva A.G., Sazonova I.E., Zakharova D.V. Influence of electromagnetic radiation of extremely high frequencies on proand antioxidant status of blood in the experiment. *Biofizika* 2016; 61(1): 131–137.
21. Полякова А.Г., Сазонова И.Е., Воловик М.Г., Перетягин П.В., Захарова Д.В. Влияние низкоинтенсивных ЭМИ 110–170 ГГц на состояние тканевого кровотока в кожном лоскуте крыс. Вестник восстановительной медицины 2014; 6(64): 25–31. Polyakova A.G., Sazonova I.E., Volovik M.G., Peretyagin P.V., Zakharova D.V. The influence of low intensity EMR on the state of tissue blood flow in the skin loskute of rats. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny* 2014; 6(64): 25–31.
22. Цымбал А.А., Киричук В.Ф., Антипова О.Н., Куртукова М.О., Андронов Е.В. Изменения уровня кортикостерона в крови у экспериментальных животных при воздействии терагерцевыми волнами на частоте атмосферного кислорода 129,0 ГГц на фоне острого и

длительного стресса. Биомедицинская радиоэлектроника 2011; 8: 23–28. Tsymbal A.A., Kirichuk V.F., Antipov O.N., Kurturova M.O., Andronov E.V. Changes in the level of corticosterone in the blood of experimental animals exposed to terahertz waves at a frequency of atmospheric oxygen 129.0 GHz on a background of acute and prolonged stress. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2011; 8: 23–28.

23. Рослый И.М. Биохимические показатели в медицине и биологии. М: Медицинское информационное агентство; 2015; 616 с. Roslyy I.M. *Biokhimicheskie pokazateli v meditsine i biologii* [Biochemical parameters in medicine and biology]. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2015; 616 p.

24. Хиггинс К. Расшифровка клинических лабораторных анализов. Под ред. Эммануэля В.Л. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2013; 456 с. Khiggins K. *Rasshifrovka klinicheskikh laboratornykh analizov* [Interpretation of clinical laboratory tests]. Pod red. Emmanuelya V.L. [Emmanuel' V.L.]. M.: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2013; 456 p.

25. Остапчук А.Е. Билирубин. Ostapchuk A.E. *Bilirubin*. 2013. URL: <http://youpedia.ru/medicina-b/bilirubin.html>.

26. Обмен серосодержащих аминокислот — метионина и цистеина. *Obmen serosoderzhashchikh aminokislot — metionina i tsisteina* [Exchange of sulphur-containing amino acids: methionone and cysteine]. URL: <http://biofile.ru/bio/10604.html>.

27. Кузнецова В.Л., Соловьева А.Г. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия. *Современные проблемы науки и образования* 2015; 4. Kuznetsova V.L., Solov'eva A.G. Nitric oxide: properties,

biological role, mechanisms of action. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* 2015; 4. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21037>.

28. Северин Е.С., Алейникова Т.Л., Осипов Е.В., Силаева С.А. Биологическая химия. М: Медицинское информационное агентство; 2008; 364 с. Severin E.S., Aleynikova T.L., Osipov E.V., Silaeva S.A. *Biologicheskaya khimiya* [Biological chemistry]. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2008; 364 p.

29. Киричук В.Ф., Цымбал А.А. Закономерности и механизмы реализации физиологических эффектов волн терагерцевого диапазона на частотах активных клеточных метаболитов. Биомедицинская радиоэлектроника 2014; 5: 61–66. Kirichuk V.F., Tsymbal A.A. Patterns and mechanisms of the physiological effects of terahertz waves at frequencies of active cellular metabolites. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2014; 5: 61–66.

30. Полякова А.Г., Алейник Д.Я. Влияние низкоинтенсивных микроволн на клеточную активность дермальных фибробластов различного генеза. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского* 2013; 6(1): 146–152. Polyakova A.G., Aleinik D.Ya. Influence of low intensity microwaves on cellular activity of dermal fibroblasts of different genesis. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* 2013; 6(1): 146–152.

31. Kapralova A.V., Pogodin A.S. Influence of terahertz radiation of various ranges on molecule's conformation of bovine serum albumin. In: *Digest Reports of International Symposium "Terahertz radiation: generation and application"*. Novosibirsk; 2010; p. 82.