

# Животноводство

УДК 619:636.8

DOI 10.19110/1994-5655-2026-1-100-107

## Оценка бактерицидного эффекта электромагнитного излучения при гнойно-воспалительных заболеваниях кожи в эксперименте

Аистова Л. Г.\*, Федорова А. О.\*, Миллер Т. В.\*,  
Груздова О. В.\*, Бондарчук Е. В.\*\*\*, Ваганов А. Г.\*\*\*,  
Турканов И. Ф.\*\*\*, Грязнов В. Г.\*\*\*, Галкина Е. А.\*\*\*,  
Флакс Г. А.\*\*

\* Дальневосточный государственный аграрный университет,  
г. Благовещенск-на-Амуре

\*\* Научный центр АО «Концерн ГРАНИТ»,

г. Москва

aleksejvaganov4@gmail.com

### Аннотация

Перед современной медициной и ветеринарией актуально создание новых методик лечения гнойных ран и ожогов, обладающих высокой бактерицидностью.

В эксперименте приняло участие 28 кроликов в возрасте 2–3 мес., разделенные на две группы. В опытной группе (n=14) лечение ран проводили трехразовыми ежедневными сеансами локального электромагнитного излучения устройством «ТОР». В контрольной группе (n=14) – двухразовой ежедневной обработкой 0,9 %-ным физиологическим раствором. После моделирования ран животным ежедневно проводили измерение их размеров с использованием планиметрического метода и бактериологический посев. Длительность эксперимента составила 14 дней. Статистическую обработку проводили программой SPSS 17.0.

С пятых суток в опытной группе скорость ранозаживления была статистически значимо выше ( $p < 0,05$ ). Различные культуры стафилококка отсутствовали в бактериологических посевах у опытной группы на 14 сутки проведения эксперимента, хотя в контрольной группе – высевались у 12 (85,7 %) животных. С увеличением скорости разрушения протея на раневой поверхности быстрее заживали ожоговые раны в опытной группе ( $p < 0,05$ ). *Pseudomonas aeruginosa* в опытной группе к 10-му дню был элиминирован у 10 (71,4 %) животных. При этом отмечена положительная корреляционная связь между скоростью заживления ран и степенью уничтожения данного микроорганизма. При нормальной реактивности макроорганизма механизмом ранозаживляющего действия электромагнитного излучения является создание стерильных условий на поверхности гнойных ран и ожогов.

### Ключевые слова:

неинвазивная электромагнитная терапия, слабые импульсные неионизируемые нетепловые электромагнитные поля, ЭМП, ПЭМП, инфицированные раны, доклинические испытания, Гц

# Animal husbandry

## Evaluation of the bactericidal effect of electromagnetic radiation against purulent-inflammatory skin diseases in an experiment

Aistova L. G.\*, Fedorova A. O.\*, Miller T. V.\*,  
Gruzдова O. V.\*, Bondarchuk E. V.\*\*\*,  
Vaganov A. G.\*\*\*, Turkanov I. F.\*\*\*, Gryaznov V. G.\*\*\*,  
Galkina E. A.\*\*\*, Flax G. A.\*\*

\*\* Far Eastern State Agrarian University,  
Blagoveshchensk-on-Amur

\*\* Science Centre of AO "Concern GRANIT",

Moscow

aleksejvaganov4@gmail.com

### Abstract

For modern medicine and veterinary science, it is important to create new methods to heal purulent wounds and burns with high bactericidal activity.

The experiment involved 28 rabbits at the age of two-three months divided into two groups. In the experimental group (n=14), wounds were treated with local electromagnetic radiation using the device "TOP" three times a day every day. In the control group (n=14), purulent and burn wounds were treated with 0.9 % saline solution two times a day every day. After wound modeling, the size of animals was measured daily using the planimetric method. The bacteriologic culture technique was also applied every day. The duration of the experiment was 14 days. Statistical processing of the data was carried out by the SPSS 17.0 program.

From day 5, the experimental group demonstrated the wound healing rate statistically significantly higher ( $p < 0.05$ ). Different staphylococcus cultures were absent in the bacteriologic cultures of the experimental group on day 14, whereas in the control group they were found in 12 (85.7 %) animals. Along with the increasing rate of proteus destruction on the wound surface, burn wounds healed faster in the experimental group ( $p < 0.05$ ). In the test group of animals, *Pseudomonas aeruginosa* was eliminated at day 10 in 10 (71.4 %) animals. At the same time, we identified a positive correlation between the rate of wound healing and the degree of destruction of this microorganism.

Against the normal reactivity of the macroorganism, the mechanism of the wound-healing effect of electromagnetic radiation consists in the creation of sterile conditions on the surface of purulent wounds and burns.

### Keywords:

non-invasive electromagnetic therapy, weak pulsed non-ionised non-thermal electromagnetic fields, EMF, PEMP, infected wounds, preclinical tests, Hz

## Введение

Гнойные раны и ожоги кожи и подкожной клетчатки занимают значительную долю хирургической патологии у сельскохозяйственных животных. Кроме того, указанная патология широко распространена у человека. По данным ряда авторов, до 35–45 % хирургических больных имеют гнойные раны, часто с полиэтиологической микрофлорой [1]. Среди хронических ран нижних конечностей, которые также являются инфицированными, распространенность составляет 1–4 % населения [2]. Ежегодно в мире происходит около 180 тыс. смертей от ожогов, причем инфекция раны развивается примерно у 34 % пациентов в ожоговых центрах. Основные возбудители – *Pseudomonas aeruginosa* (64,7 %), *Staphylococcus aureus* (35,3 %), *Acinetobacter baumannii* (27,9 %), *Klebsiella pneumoniae* (26,5 %). Факторы риска инфекции и смерти при ожоговой ране – возраст и степень глубины ожога [3]. Ожоги занимают второе-третье место среди травм во всем мире и существенно влияют на смертность и инвалидизацию [4].

В настоящее время существует множество способов лечения гнойно-воспалительных изменений кожи, которые меняются в зависимости от стадии течения раневого процесса [5–7]. С одной стороны, процесс тканевой регенерации определяется состоянием реактивности организма в целом, компенсацией сопутствующей хронической общесоматической патологии, а также метаболических расстройств. С другой стороны, важное значение имеет природа возбудителей местного воспалительного процесса, выраженность острой фазы местной воспалительной реакции [8, 9]. Немаловажное значение имеет сбалансированность иммунологических процессов на местном уровне, состояние тканевой микроциркуляции [10].

Современный подход к лечению гнойных ран предполагает комплексное воздействие, направленное как на подавление инфекции, так и на стимуляцию регенеративных процессов. Он включает в себя использование антибиотиков широкого спектра действия, местных антисептических препаратов, а также методов физиотерапии, направленных на улучшение микроциркуляции и снижение тканевого отека. Важным аспектом является и коррекция иммунологических нарушений, что достигается применением иммуномодуляторов и витаминных комплексов [2, 3, 8].

В последние годы все большее внимание уделяется использованию современных раневых покрытий, обладающих антимикробными и ранозаживляющими свойствами, создающих необходимую влажную среду для регенерации тканей. Эти покрытия создают оптимальную влажную среду для заживления, защищают рану от вторичной инфекции и способствуют грануляции ткани. Кроме того, перспективными направлениями является использование стволовых клеток и генной терапии для ускорения регенерации поврежденных тканей [3, 8].

Несмотря на достижения современной медицины, лечение гнойно-воспалительных заболеваний кожи остается актуальной проблемой, ввиду роста резистентности микроорганизмов к антибиотикам. В связи с этим ведут-

ся активный поиск новых, более эффективных методов лечения, способных преодолеть устойчивость бактерий и стимулировать собственные регенеративные ресурсы организма.

В последние годы все больший интерес вызывает электромагнитная терапия (ЭМТ) как перспективный инструмент стимуляции репаративных процессов в тканях, обладающая достаточным бактерицидным действием и отсутствием возникновения резистентности со стороны микроорганизмов [11–15].

Механизм действия ЭМТ при заживлении гнойных ран многообразен и включает в себя несколько ключевых аспектов. Во-первых, электромагнитные поля способствуют улучшению микроциркуляции в области раны, что обеспечивает более эффективную оксигенацию тканей и повышают биодоступность антибиотиков. Во-вторых, ЭМТ оказывает противовоспалительное действие, обладая противоотечным эффектом. В-третьих, электромагнитные поля стимулируют активность фибробластов – клеток, отвечающих за синтез коллагена, основного компонента соединительной ткани, необходимого для формирования рубца [16–18].

Клинические исследования демонстрируют обнадеживающие результаты применения ЭМТ при лечении гнойных ран – отмечены значительная констрикция раневой поверхности, сокращение сроков заживления и снижение частоты развития осложнений. Электромагнитная терапия может применяться как в качестве монотерапии, так и в сочетании с другими методами лечения, такими как антибиотикотерапия и хирургическая обработка раны [19–21].

Несмотря на положительные результаты, необходимо проведение дальнейших исследований для определения оптимальных параметров ЭМТ, выбора наиболее эффективных режимов воздействия и оценки долгосрочной эффективности данного метода лечения гнойных ран [22].

Важным направлением исследований является изучение влияния различных параметров электромагнитного поля, таких как частота, интенсивность и форма импульса, на скорость и качество регенерации и эпителизации [23]. Предварительные данные свидетельствуют о том, что низкочастотные электромагнитные поля оказывают более выраженное стимулирующее воздействие на раневую констрикцию, однако необходимы дальнейшие исследования для подтверждения этих результатов и оптимизации параметров воздействия [16, 18, 22, 24].

Как и любое терапевтическое воздействие, ЭМТ демонстрирует выраженный дозозависимый эффект, определяющий ее действенность и безопасность. В основе дозозависимости лежит сложное взаимодействие электромагнитных полей с биологическими тканями. Низкие дозы, как правило, оказывают биостимулирующее действие, активизируя клеточный метаболизм, улучшая микроциркуляцию и стимулируя синтез белков. С другой стороны, высокие дозы электромагнитного излучения могут оказывать деструктивное воздействие на клетки и ткани. Это связано с избыточным тепловым эффектом, генерацией свободных радикалов и нарушением клеточной структуры [10, 24].

В целом, ЭМТ представляет собой перспективный и многообещающий метод лечения гнойных ран, который может значительно улучшить результаты лечения. В настоящее время актуальна разработка и внедрение новых методов ЭМТ, позволяющих обеспечить более адресное и контролируемое воздействие на раневую поверхность.

Однако для широкого внедрения ЭМТ в клиническую практику необходимо проведение дальнейших исследований, направленных на оптимизацию параметров воздействия, разработку новых методов и оценку долгосрочной эффективности.

## Материалы и методы

В проспективном, нерандомизированном открытом исследовании приняли участие 28 беспородных кроликов в возрасте 2–3 мес. весом 1,5–2 кг, которые были разделены на две группы.

Контрольную группу (n=14) составили животные, у которых лечение гнойных и инфицированных ожоговых ран проводилось ежедневной двухразовой обработкой 0,9%-ным физиологическим раствором.

В опытной группе (n=14) лечение гнойных и инфицированных ожоговых ран осуществлялось трехразовыми ежедневными сеансами локального электромагнитного излучения.

В каждой группе было выделено две подгруппы в зависимости от этиопатогенетического механизма инфицированных ран.

Подгруппу А (n=7) составили животные, которым были смоделированы гнойные раны. Моделирование заключалось в выкраивании под местной инфильтрационной анестезией раствора новокаина 0,25 % кожного лоскута площадью 25 см<sup>2</sup>, который в последствие выворачивался шерстью внутрь и фиксировался на сутки лейкопластырем. В результате на вторые сутки формировались признаки гнойного воспаления.

В подгруппу Б (n=7) вошли животные с моделированными ожоговыми ранами путем прикладывания к коже раскаленного клейма округлой формы площадью 25 см<sup>2</sup> на 2 сек.

Для лечения гнойных ран применяли устройство электромагнитной терапии «ТОР», использованное в COVID-клинике Самарского государственного медицинского университета. Аппарат неинвазивной электромагнитной терапии «ТОР» зарегистрирован в качестве медицинского изделия в Государственном реестре Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения Российской Федерации (№ RZN 2021/15459 от 23 сентября 2021 г., регистрационное досье № RD36804/79643) [25]. Сеансы электромагнитной терапии осуществлялись животным на расстоянии 5 м, ежедневно в 12 часов дня, продолжительностью 15 мин.

Принцип действия аппарата «ТОР» основан на слабом неионизирующем нетепловом электромагнитном излучении, непрерывно генерируемом высоковольтными импульсами вольфрамовых электродов. Частота импульсов находится в диапазоне 100–150 Гц, каждый меандроподобный волновой пакет имеет частотный режим 25 кГц. Потребляемая мощность при работе составляет 12 Вт, максимальная – 150 Вт. Напряжение на вольфрамовых элект-

тродов не превышает 8 кВ. Электромагнитное излучение соответствует Национальным требованиям здравоохранения Российской Федерации.

Клинически у животных ежедневно оценивалась температура тела, брался клинический и биохимический анализ крови с целью оценки маркеров системной воспалительной реакции (лейкоциты крови, уровень нейтрофилаза, С-реактивный белок).

После моделирования ран животным в ежедневном режиме проводилось измерение их размеров с использованием планиметрического метода. Сущность данного метода заключается в обведении контура раны на миллиметровой бумаге с размеченными квадратами. Затем подсчитывается количество квадратов, попадающих в границы раны, для получения площади в квадратных сантиметрах. Данный метод позволяет рутинно оценивать динамику размеров раневого дефекта, включая его глубину и состояние раневого ложа.

Бактериологическое исследование выполнялось ежедневно, осуществлялось стандартным методом путем взятия у пациента мазка с поверхности раны, его помещением на питательную среду для роста бактерий, выделением чистой культуры микроорганизмов и дальнейшим определением вида бактерии, его концентрации и чувствительности к антибиотикам.

Длительность эксперимента составила 14 дней.

Для статистической обработки данных использовали программное обеспечение SPSS 17.0. Количественные показатели представлены медианой и межквартильным интервалом, Me [Q1; Q3]. Проверку нормальности распределения количественных показателей проводили по критерию Шапиро-Уилка. Статистическую значимость различий количественных показателей между тремя независимыми группами оценивали по критерию Краскела – Уоллиса. Для оценки корреляционной зависимости между количественными показателями использовали коэффициент корреляции Спирмена. Различия категориальных показателей между независимыми группами оценивали с помощью  $\chi^2$ -критерия Пирсона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез составлял  $p=0,05$ .

## Результаты и их обсуждение

При оценке скорости заживления ран и ожогов в группах исследования с пятых суток после начала электромагнитной терапии отмечалось наличие статистической разницы. В опытной группе скорость заживления была выше (табл. 1).

При анализе скорости ранозаживления в группах и подгруппах исследования проводилась корреляция динамики данного процесса в зависимости от наличия того или иного микроорганизма, а также его свойств.

При оценке микробиоценоза гнойных и ожоговых ран перед началом электромагнитной терапии у всех животных отмечалось наличие микробных ассоциаций грамположительных стафилококков *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus xylosus* в максимальном количестве 10<sup>4</sup> КОЕ/мл. Между животными с гнойными и

ожоговыми ранами в опытной группе статистически значимых различий по количеству данной флоры в процессе динамического исследования на фоне электромагнитной терапии не выявлено (табл. 2).

Данные микроорганизмы отсутствовали в бактериологических посевах у опытной группы на 14 сут. проведения эксперимента, хотя в контрольной группе к данному времени высевались у 12 (85,7 %) животных. Корреляционной связи между уменьшением количества стафилококков и ускорением процессов ранозаживления не выявлено.

При анализе грамотрицательной флоры выяснено, что у всех животных с гнойными и ожоговыми ранами высевались различные штаммы протей – *Proteus mirabilis* и *Proteus vulgaris*.

Снижение количества культур протей на фоне проводимого лечения статистически значимо отличалось в группах исследования, быстрее всего его элиминация наблюдалась в опытной группе.

При этом отмечена корреляционная связь между снижением обсемененности ран и ожогов протеем и скоростью их регенерации. При чем необходимо отметить, что с увеличением скорости разрушения протей на раневой поверхности быстрее в опытной группе заживали ожоговые раны ( $p < 0,05$ ) (табл. 3).

При оценке степени зараженности ран и ожогов микроорганизмами из группы кишечных палочек *Escherichia coli* и *Citrobacter freundii*, а также клебсиеллы (*Klebsiella oxytoca*) их величины перед началом лечения сопоставимы. В дальнейшем статистические различия в скорости заживления гнойных ран в группах исследования не коррелировали со скоростью уничтожения данных микроорганизмов, которые уже не определялись на пятые сутки исследования (табл. 4).

При анализе скорости элиминации *Acinetobacter baumannii* в опытной группе отмечается быстрое уменьшение обсемененности им гнойных и ожоговых ран уже с пятых суток эксперимента и их полное отсутствие в итоговых посевах перед завершением эксперимента. Важно отметить, что при снижении обсемененности акинетобактером до  $10^3$  КОЕ/мл, скорость тканевой регенерации в опытной группе увеличивалась на 50 %. В контрольной группе отмечалось крайне медленное разрушение этого, крайне устойчивого к внешним факторам воздействия микроорганизма.

При анализе скорости элиминации *Pseudomonas aeruginosa* с раневой поверхности отмечается хороший

Таблица 1  
Динамика заживления инфицированных ран в группах исследования  
Table 1  
The healing dynamics of infected wounds in the study groups

Дни	Опытная группа		Контрольная группа		p	
	Площадь гнойной раны, см <sup>2</sup>	Площадь ожоговой раны, см <sup>2</sup>	Площадь гнойной раны, см <sup>2</sup>	Площадь ожоговой раны, см <sup>2</sup>	P (гнойные раны)	P (ожоговые раны)
3	24,0 [22,3;24,5]	24,6 [23,4;25,0]	24,1 [23,1;24,9]	23,9 [23,3;24,8]	0,474	0,356
5	19,0 [20,3;23,9]	19,1 [22,4;24,1]	24,0 [23,4;24,5]	23,9 [23,1;24,5]	0,043	0,048
7	15,2 [18,9;20,3]	16,4 [19,2;23,5]	22,5 [21,5;24,1]	23,1 [22,5;24,6]	0,032	0,035
9	12,0 [16,5;19,0]	13,1 [17,4;22,1]	21,1 [20,3;23,2]	22,5 [20,1;23,4]	0,012	0,009
11	10,0 [12,0;14,5]	11,1 [13,9;15,5]	20,5 [19,2;23,5]	21,2 [20,4;22,3]	0,003	0,005

Таблица 2  
Взаимосвязь между скоростью тканевой констрикции и обсемененностью гнойных ран и ожогов различными штаммами стафилококка  
Table 2  
The relationship between the tissue constriction rate and the content of various strains of staphylococcus in purulent wounds and burns

Скорость заживления	$10^7-10^5$				$10^4-10^3$			
	Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)		Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)	
	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог
1-2 см <sup>2</sup>	11(78,5)	12(85,7)	13(92,9)	11(78,5)	13(92,9)	11 (78,5)	12(85,7)	13(92,9)
3-4 см <sup>2</sup>	3(21,4)	2 (14,3)	1 (7,1)	3(21,4)	1(7,1)	3(21,4)	2(14,3)	1(7,1)
5-6 см <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3  
Взаимосвязь между скоростью тканевой констрикции и обсемененностью гнойных ран и ожогов различными штаммами протей  
Table 3  
The relationship between the tissue constriction rate and the content of various strains of proteus in purulent wounds and burns

Скорость заживления	$10^7-10^5$				$10^4-10^3$			
	Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)		Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)	
	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог
1-2 см <sup>2</sup>	7(50)	8(85,7)	11(78,5)	10(71,4)	1(7,1)	1 (7,1)	6(42,9)	7(50)
3-4 см <sup>2</sup>	7(50)	6(42,9)	3 (21,4)	4(28,6)	6(42,9)	3(21,4)	4(28,6)	5(35,7)
5-6 см <sup>2</sup>	0	0	0	0	7 (50)	10 (71,4)	4(28,6)	2 (14,3)

Таблица 4  
Взаимосвязь между скоростью тканевой констрикции и обсемененностью гнойных ран и ожогов различными штаммами кишечной палочки и клебсиеллы  
Table 4  
The relationship between the tissue constriction rate and the content of various strains of *E. coli* and *Klebsiella* in purulent wounds and burns

Скорость заживления	$10^6-10^5$				$10^4-10^2$			
	Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)		Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)	
	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог
1-2 см <sup>2</sup>	13(92,9)	13(92,9)	13(92,9)	12(85,7)	5 (35,7)	4 (28,6)	6 (42,9)	5(35,7)
3-4 см <sup>2</sup>	1 (7,2)	1(7,2)	1(7,2)	2(14,3)	9 (64,2)	10 (71,4)	8(85,7)	9(64,2)
5-6 см <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0

эффект от электромагнитной терапии, при проведении которой в опытной группе данный микроорганизм к 10-м сут. был элиминирован у 10 (71,4 %) животных. При этом отмечена положительная корреляционная связь между скоростью заживления ран и степенью уничтожения данной грамотрицательной бактерии (табл. 5).

При анализе клинической картины и лабораторных показателей у экспериментальных животных необходимо отметить сопоставимые показатели системной воспалительной реакции (ССВР) между опытной и контрольной группами до пяти суток проводимого лечения. В дальнейшем в группах исследования отмечаются статистически значимые отличия по основным лабораторным маркерам (табл. 6). В опытной группе отмечено два пика снижения показателей лейкоцитоза и С-реактивного белка. На пятые сутки это событие у 12 (85,7 %) животных опытной группы сочеталось со снижением обсемененности акинетобактером ( $10^4$  КОЕ/мл) и протеом ( $10^4$  КОЕ/мл). Второй пик снижения показателей ССВР к 10-м сут. исследования был менее выражен и коррелировал у 11 (78,6 %) животных со снижением обсемененности ран *Pseudomonas aeruginosa*.

Фебрильная лихорадка в группах исследования была в первые пять суток у 11 (78,6 %) животных опытной группы и у 12 (85,7 %) контрольной группы. В дальнейшем у всех животных опытной и контрольной групп, вне зависимости от этиологии раны, отмечался субфебрилитет до 37,2 °С до конца эксперимента.

Течение любого воспалительного процесса определяется состоянием макроорганизма и патогенностью возбудителя, который его вызвал. С гамоничностью протекания острой фазы воспаления, экссудации, пролиферации и ремоделирования напрямую связана скорость раневой констрикции. В нашем исследовании влияния ЭМТ на регенерационные процессы инфицированных ран и ожогов, реактивность макроорганизма имели исходно сопоставимые значения, поэтому основное внимание было уделено бактерицидному воздействию данного излучения.

В настоящее время наиболее широкое распространение с бактерицидной целью в медицинской практике получило ультрафиолетовое излучение. Оно обладает рядом

положительных эффектов, включая улучшение микроциркуляции крови, стимуляцию клеточного метаболизма и повышение иммунитета. Кроме того, имеет широкий спектр бактерицидной активности как на грамположительные, так и на грамотрицательные микроорганизмы. Однако при использовании УФО важно учитывать дозировку и продолжительность воздействия, поскольку оно обладает рядом побочных действий [26]. Некоторые пациенты могут испытывать кожные высыпания, зуд или покраснения после процедур УФО вплоть до развития фотодерматозов. Это связано с индивидуальной чувствительностью организма к ультрафиолетовым лучам. Хотя риск развития меланомы и базально-клеточной карциномы относительно низок, длительное регулярное воздействие больших доз ультрафиолетового излучения увеличивает вероятность возникновения этих видов опухолей. Частое использование УФО может подавлять активность иммунных клеток, делая организм менее устойчивым к инфекциям и другим заболеваниям [27, 28].

У применяемой нами ЭМТ данные противопоказания отсутствуют, кроме того применение электромагнитной терапии возможно в дистанционном режиме. Единственными относительными противопоказаниями могут выступать ношение кардиостимулятора и беременность.

При этом спектр бактерицидного воздействия ЭМТ не уступает по широте УФО, как показало проведенное нами исследование. Грамположительная флора (стафилококки), имеющая толстую муреиновую оболочку, задерживающую УФО, затрудняет его проникновение внутрь клетки. Поэтому бактерицидный эффект от УФО достигается применением более высоких доз излучения [29]. В случае ЭМТ элиминация грамположительной флоры не требует больших доз излучения, однако ее уничтожение качественно не сказывается на скорости раневой констрикции у экспериментальных животных.

Таблица 5

Взаимосвязь между скоростью тканевой констрикции и обсемененностью гнойных ран и ожогов различными штаммами синегнойной палочки

Table 5

The relationship between the tissue constriction rate and the content of various strains of *Pseudomonas aeruginosa* in purulent wounds and burns

Скорость заживления	$10^5-10^4$				$10^3-10^2$			
	Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)		Опытная группа, кол-во (%)		Контрольная группа, кол-во (%)	
	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог	Раны	Ожог
1-2 см <sup>2</sup>	5 (35,7)	4 (28,6)	10 (71,4)	10 (71,4)	2 (14,3)	1 (7,2)	10 (71,4)	9 (64,2)
3-4 см <sup>2</sup>	9 (64,2)	10 (71,4)	4 (28,6)	4 (28,6)	9 (64,2)	9 (64,2)	4 (28,6)	4 (28,6)
5-6 см <sup>2</sup>	0	0	0	0	3 (21,4)	4 (28,6)	0	1 (7,2)

При анализе бактерицидного эффекта ЭМТ в отношении грамотрицательной флоры, а именно – различных культур протей, клебсиеллы, бактерий группы кишечной палочки, синегнойной палочки, отмечается прогрессивное их уменьшение в посевах с поверхности ран и ожогов, прямо пропорционально длительности воздействия. При этом, на фоне сохранения нормальной реактивности животных отмечена прямая взаимосвязь между скоростью уничтожения данной грамотрицательной флоры и скоростью заживления ин-

Таблица 6

Результаты клинического анализа крови в группах исследования

Table 6

Results of clinical blood analysis in the study groups

Показатель	Фон		5-й день		10-й день		14-й день	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Лейкоциты, $10^9/л$	6,1 [5,6; 8,0]	5,0 [4,4;7,3]	20,2 [17,8;29,8]	14,6 [13,9;17,6]*	18,8 [17,6;19,9]	12,3 [10,8; 13,9]*	15,6 [11,7;17,1]*	7,6 [6,9;10,9]*
Нейтрофилы, %	49,8 [43,4;50,5]	55,6 [44,4;58,4]	87,9 [78,3;90,8]	61,7 [59,4;70,3]*	81,7 [77,4;84,8]	58,3 [57,4;66,2]*	71,1 [69,2; 74,7]*	44,4 [43,4;54,4]*
СРБ, ЕД/л	50 [45;55]	52 [42;56]	345 [330;268]	177 [170;204]*	220 [200;265]	95 [88;100]*	103 [100;120]*	57 [49;90]*

Примечание. \* различия статистически значимы ( $p < 0,05$ ).

Note. \* the differences are statistically significant ( $p < 0.05$ ).

фицированных ран и ожогов. Важно отметить, что этиологический принцип возникновения инфицированной раны или термического ожога не имел существенного значения в скорости заживления под воздействием ЭМТ.

Необходимо подчеркнуть, что в отличие от антибиотиков, к которым бактерии могут вырабатывать резистентность, электромагнитное поле воздействует на клеточном уровне, нарушая метаболические процессы и структуру ДНК микроорганизмов. Кроме того, в отличие от антибиотикотерапии, электромагнитное излучение не вызывает аллергических реакций, не оказывает токсического воздействия на организм и не повреждает здоровые ткани. На наш взгляд, необходимо продолжение клинико-экспериментального изучения эффектов электромагнитной терапии, возможности ее применения в комплексе с другими методами лечения, с целью усиления их эффективности.

Таким образом, электромагнитная терапия представляет собой многообещающий метод лечения инфицированных ран и ожогов, который требует дальнейшего изучения и развития. Ее потенциальные преимущества, такие как широкий спектр бактерицидного действия, безопасность и возможность комбинирования с другими методами лечения, делают ее перспективным направлением для разработки новых подходов к борьбе с хирургическими инфекциями как в животноводстве, так и в медицине.

## Выводы

1. Электромагнитное воздействие обладает бактерицидной активностью широкого спектра действия у животных с гнойными ранами и ожогами.

2. При нормальной реактивности макроорганизма механизмом ранозаживляющего действия электромагнитного излучения является создание стерильных условий на поверхности гнойных ран и ожогов.

3. При использовании электромагнитного излучения в процессе проведения эксперимента не зафиксировано отрицательных или побочных эффектов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература / References

1. The ASAP Experimental Group. Multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled trial of surgical antibiotic prophylaxis with a combination of vancomycin and cefazolin: Australian Surgical Antibiotic Prophylaxis / T. Peel, S. Astbury, A. S. Cheng [et al.] // *BMJ Open*. – 2019. – № 11. – P. e033718. – doi: 10.1136/bmjopen-2019-033718.
2. Antibiotics and antiseptics for the healing of surgical wounds by secondary tension / G. Norman, J. S. Dumville, D. P. Mohapatra [et al.] // *Cochrane Database System*, version 2016, 3, CD011712. – doi: 10.1002/14651858.CD011712.pub2.
3. Topical antibiotics to prevent infection at the surgical site during wound healing by primary tension / K. F. Hill, J. L. Banks, P. D. Lepper [et al.] // *Cochrane Database System*, version 2016, 11, CD011426. – doi: 10.1002/14651858.CD011426.pub2.
4. The use of drugs containing copper nanoparticles for the treatment of experimental purulent wounds / I. V. Babushkina, E. V. Gladkova, S. V. Belova [et al.] // *International Conference on Biology and Medicine*. 2017, 2. P. 162–164. – doi: 10.1007/s10517-017-3948-G.
5. Progress in the development of copper-based materials for wound healing / W. Diao, P. Li, H. Jiang [et al.] // *Regeneration for Wound Healing* 2024, 3. P. 314–322. – doi: 10.1111/wrr.13122.
6. Analysis of the therapeutic effect of artificial skin application in combination with fascial sleeve flap transplantation in chronic wounds of the lower extremities with bone and plate exposure / Yu. Li, Z. B. Zhang, J. S. Liu [et al.] // *BMC Surg* 2022, 1. P. 69. – doi: 10.1186/s12893-022-01521-2.
7. Treatment of patients with purulent wounds using an original method of hydrodynamic drainage / N. S. Kazaryan, K. K. Kozlov, A. Yu. Bykov [et al.] // *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. – 2013. – № 12. – P. 64–68.
8. Modeling of mechanical and thermal wounds of soft tissues / A. A. Andreev, A. A. Glukhov, A. P. Ostroushko [et al.] // *Bull Exp Biol Med*. – 2022. – № 173. – P. 287–292. (in Russian) – doi: 10.1007/s10517-022-05535-x.
9. Stereological and molecular studies of the combined effects of photobiomodulation and conditioned environment with human bone marrow mesenchymal stem cells on wound healing in diabetic rats / A. Amini, R. Pouriran, M. A. Abdollahifar [et al.] // *J Photochem Photobiol B*. – 2018. – № 182. – P. 42–51. – doi: 10.1016/j.jphotobiol.2018.03.010.
10. The use of physical methods in the treatment of purulent wounds / K. V. Lipatov, M. A. Sopromadze, A. Yu. Yemelyanov [et al.] // *Surgery*. – 2001. – № 10. – P. 56–61. (in Russian)
11. Effect of photobiomodulation on degranulation, mast cell count and wound strength during healing skin wounds in rats with streptozotocin-induced diabetes / M. Bagheri, A. Amini, M. A. Abdollahifar [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery*. – 2018. – № 8. – P. 415–423. – doi: 10.1089/pho.2018.4453.
12. The role of the magnetic field in the healing of skin lesions in leishmaniasis in mice / M. Dastgheyb, M. Shaddel, V. Saba [et al.] // *Archive of Razi*. – 2020. – № 2. – P. 227–232. – doi: 10.22092/ari.2019.123403.1246.
13. The effect of combined pulse-wave low-level laser therapy and a medium conditioned with mesenchymal stem cells on the healing of infected wounds with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in rats with *diabetes mellitus* / Koukhale, R.; Friedoni, M.; Piryai, A. J. [et al.] // *Cellular Biochemistry*. – 2018. – № 7. – P. 5788–5797. – doi: 10.1002/jcb.26759.
14. The effect of combined pulse-wave low-level laser therapy and a medium with human mesenchymal bone marrow stem cells on the healing of open skin wounds in rats with *diabetes mellitus* / R. Puriran, A. Piryai, A. Mostafavinia [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery*. – 2016. – № 8. – P. 345–354. – doi: 10.1089/pho.2015.4020.
15. Stochastic ultra-low-frequency fluctuations in the luminescence intensity of a polymer membrane surface swell-

- ing in aqueous salt solutions / N. F. Bunkin, P. N. Bolotskova, E. V. Bondarchuk [et al.] // *Polymers*. – 2022. – № 14. – P. 688. – URL: <https://doi.org/10.3390/polymer14040688>.
16. Okhunov, A. O. Clinical and laboratory features of the course of the wound process of soft tissues / A. O. Okhunov, U. I. Pulatov, D. A. Okhunova // *Bull. Scientific Publishing House*. – 2018. – № 45. – P. 104–110. (in Russian)
  17. Iryanov, Yu. M. Reparative osteogenesis and angiogenesis under conditions of low-intensity electromagnetic radiation of ultrahigh frequency / Yu. M. Iryanov, N. A. Kiryanov // *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. – 2015. – № 3. – P. 334–340. – doi: 10.15690/vramn.v70i3.1330.
  18. Yuan, J. The main signaling pathways and therapeutic use of pulsed electromagnetic fields in bone repair / J. Yuan, F. Xin, U. Jiang // *Cellular Physiology and Biochemistry*. – 2018. – № 4. – P. 1581–1594. – doi: 10.1159/000489206.
  19. Adams, B. New materials of nature: a review of quantum biology / B. Adams, F. Petruccione // *Encyclopedia of Condensed Matter Physics*, 2nd ed. / ed. T. Chakraborty. – Oxford, UK: Academic Press, 2024. – P. 593–604.
  20. Long-term effect of low-frequency electromagnetic radiation in water and isotonic aqueous solutions studied by photoluminescence on a polymer membrane / N. F. Bunkin, P. N. Bolotskova, E. V. Bondarchuk [et al.] // *Polymers*. – 2021. – № 13. – P. 1443. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym13091443>.
  21. Evaluation of the biological effects of microwave radiation on human sperm in vitro and determination of the role of plasma source polyamines in this process / M. V. Ploskonos, D. F. Zulfalaeva, N. R. Kurbangalieva [et al.] // *Biomed Rep*. – 2022. – № 5. – P. 38. – doi: 10.3892/br.2022.1521.
  22. The effect of low-intensity EHF radiation on the reproductive function of Wistar rats / T. I. Subbotina, O. V. Tereshkina, A. A. Khadartsev [et al.] // *Biol Med*. – 2006. – № 142. – P. 189–190. (in Russian) – doi: 10.1007/s10517-006-0324-8.
  23. Betskiy, O. V. Low-intensity millimeter waves in medicine and biology / O. V. Betskiy, N. D. Devyatkov, V. V. Kislov // *Critical Review of Biomed Eng*. – 2000. – № 28. – P. 247–268. – doi: 10.1615/critical review of biomedeng.v28.i12.420.
  24. Ziskin, M. S. Millimeter waves: acoustic and electromagnetic / M. S. Ziskin // *Bioelectromagnetism*. – 2013. – № 34. – P. 3–14. (in Russian)
  25. Efficiency of the TOR noninvasive electromagnetic therapy device for remote treatment of COVID-19: a phase II clinical trial. Results / O. V. Fatenkov, I. L. Davydkin, A. V. Yashkov [et al.] // *Bull. Honey. Inst. Continued by Edu*. – 2024. – № 4. – P. 25–34. (in Russian) – DOI 10.36107/2782-1714\_2024-4-4-25-34.
  26. Efficacy of combinational treatment versus nicotineamide monotherapy in the prevention of ultraviolet radiation-induced skin cancer / C. Pihl, F. Andersen, P. Bjerring [et al.] // *Dermatology*. – 2024. – № 240 (3). – P. 453–461. – doi: 10.1159/000538445.
  27. Tsai, J. Photoprotection for skin of color / J. Tsai, A. L. Chien // *Am J Clin Dermatol*. – 2022. – № 23 (2). – P. 195–205. – doi: 10.1007/s40257-021-00670-z.
  28. Exosomes derived from human dermal fibroblasts protect against UVB induced skin photoaging / A. Y. Park, J. O. Lee, Y. Jang [et al.] // *Int J Mol Med*. – 2023. – № 52 (6). – P. 120. – doi: 10.3892/ijmm.2023.5323.
  29. Photo-crosslinked pro-angiogenic hydrogel dressing for wound healing / W. Zhang, S. Qian, J. Chen // *Int J Mol Sci*. – 2024. – № 25 (18). – P. 9948. – doi: 10.3390/ijms25189948.

#### Информация об авторах:

**Аистова Любовь Германовна** – аспирант кафедры патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8442>, SPIN-код: 3217-8405 (675005, Российская Федерация, г. Благовещенск-на-Амуре, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: aistovalg@sgaz.pro).

**Фёдорова Анастасия Олеговна** – доктор биологических наук, доцент кафедры патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета; <https://orcid.org/0009-0003-0405-0830>, SPIN-код: 4519-8749 (675005, Российская Федерация, г. Благовещенск-на-Амуре, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: anfedka@list.ru).

**Миллер Татьяна Викторовна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9900-3724>, SPIN-код: 8213-4076 (675005, Российская Федерация, г. Благовещенск-на-Амуре, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: tmiller2004@mail.ru).

**Груздова Олеся Валерьевна** – кандидат биологических наук, заведующий кафедрой патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5598-6450>, SPIN-код: 4493-8189 (675005, Российская Федерация, г. Благовещенск-на-Амуре, ул. Политехническая, д. 86; e-mail: gruzdova76@mail.ru).

**Бондарчук Елена Владимировна** – вице-президент АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4405-4513>, SPIN-код: 3701-3798 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 2; e-mail: office@granit-concern.ru).

**Ваганов Алексей Геннадьевич** – кандидат медицинских наук, научный консультант научного отдела АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8191-2551>, SPIN-код: 2202-0746 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 2; e-mail: aleksejvaganov4@gmail.com).

**Турканов Игорь Фёдорович** – руководитель научного отдела АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1665-3718>, SPIN-код: 4150-5543 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 2; e-mail: office@granit-concern.ru).

**Грязнов Валерий Георгиевич** – кандидат технических наук, заместитель руководителя научного отдела АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-6815>, SPIN-код: 1071-5506 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 2; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Галкина Екатерина Анатольевна** – начальник лаборатории электробиофизических и химических исследований АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>, SPIN-код: 4693-8189 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 1; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Флакс Григорий Арнольдович** – медицинский советник АО «Концерн ГРАНИТ»; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3298-3389>, SPIN-код: 2336-3950 (119019, Российская Федерация, г. Москва, Гоголевский бульвар, д. 31, корп. 2; e-mail: [flax.g@granit-concern.ru](mailto:flax.g@granit-concern.ru)).

#### About the authors:

**Lyubov G. Aistova** – Postgraduate Student at the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8442>, SPIN-code: 3217-8405 (86 Politekhnikeskaya str., Blagoveshchensk-on-Amur, 675005, Russian Federation; e-mail: [aistovalg@sgaz.pro](mailto:aistovalg@sgaz.pro)).

**Anastasia O. Fedorova** – Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor at the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, <https://orcid.org/0009-0003-0405-0830>, SPIN-code: 4519-8749 (86 Politekhnikeskaya str., Blagoveshchensk-on-Amur, 675005, Russian Federation; e-mail: [anfedka@list.ru](mailto:anfedka@list.ru)).

**Tatyana V. Miller** – Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor at the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9900-3724>, SPIN-code: 8213-4076 (86 Politekhnikeskaya str., Blagoveshchensk-on-Amur, 675005, Russian Federation; e-mail: [tmiller2004@mail.ru](mailto:tmiller2004@mail.ru)).

**Olesya V. Gruzdova** – Candidate of Sciences (Biology), Head of the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5598-6450>, SPIN-code: 4693-8189 (86 Politekhnikeskaya str., Blagoveshchensk-on-Amur, 675005, Russian Federation; e-mail: [gruzdova76@mail.ru](mailto:gruzdova76@mail.ru)).

**Elena V. Bondarchuk** – Vice President of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4405-4513>, SPIN-code: 3701-3798 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Alexey G. Vaganov** – Candidate of Sciences (Medicine), Scientific Consultant of the Scientific Department of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8191-2551>, SPIN-code: 2202-0746 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [aleksejvaganov4@gmail.com](mailto:aleksejvaganov4@gmail.com)).

**Igor F. Turkanov** – Head of the Scientific Department of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1665-3718>, SPIN-code: 4150-5543 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Valery G. Gryaznov** – Candidate of Sciences (Engineering), Deputy Head of the Scientific Department of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5751-6815>, SPIN-code: 1071-5506 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Ekaterina A. Galkina** – Head of the Electrobiophysical and Chemical Research Laboratory of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3824-2577>, SPIN-code: 4693-8189 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [office@granit-concern.ru](mailto:office@granit-concern.ru)).

**Grigory A. Flaks** – Medical Adviser of AO “Concern GRANIT”, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3298-3389>, SPIN-code: 2336-3950 (31 Gogolevsky Boulevard, Building 2, Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: [flax.g@granit-concern.ru](mailto:flax.g@granit-concern.ru)).

#### Для цитирования:

Оценка бактерицидного эффекта электромагнитного излучения при гнойно-воспалительных заболеваниях кожи в эксперименте / Л. Г. Аистова, А. О. Федорова, Т. В. Миллер [и др.] // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2026. – № 1 (86). – С. 100–107.

#### For citation:

Osenka baktericidnogo efekta elektromagnitnogo izlucheniya pri gnojno-vozpалitelnyh zabolevaniyah kozhi v eksperimente [Evaluation of the bactericidal effect of electromagnetic radiation against purulent-inflammatory skin diseases in an experiment] / L. G. Aistova, A. O. Fedorov, T. V. Miller [et al.] // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series “Agricultural Sciences”. – 2026. – № 1 (86). – P. 100–107.

Дата поступления рукописи: 09.02.2026

Прошла рецензирование: 12.02.2026

Принято решение о публикации: 16.02.2026

Received: 09.02.2026

Reviewed: 12.02.2026

Accepted: 16.02.2026