



<https://doi.org/10.34883/PI.2024.12.4.017>
УДК: 616.006+537.87



Сабиров Д.Р.¹✉, Юсупова О.Ж.¹, Пулатова К.М.²

¹ Национальный детский медицинский центр, Ташкент, Узбекистан

² Ташкентская медицинская академия, Ташкент, Узбекистан

Влияние электромагнитных радиоволн на экспериментальную опухолевую модель Уокера

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Сабиров Д.Р. – разработка, обоснование концепции и проведение самого исследования, сбор материала и его анализ, обработка и интерпретация данных, окончательное утверждение статьи для публикации; Юсупова О.Ж. – сбор, сравнительный анализ и статистическая обработка данных, написание и редактирование статьи; Пулатова К.М. – сбор, сравнительный анализ и статистическая обработка данных, написание и редактирование статьи.

Подана: 08.07.2024

Принята: 21.10.2024

Контакты: gocjahongir@gmail.com

Резюме

Было проведено исследование по изучению влияния электромагнитной радиоволновой терапии (ЭМРВТ) на опухолевую модель с использованием 100 экспериментальных животных, которым был привит опухолевый штамм Уокера. Лечение животных начинали через 5–6 дней после имплантации опухоли посредством ЭМРВТ аппаратом «ТОР». Далее проводили оценку результатов влияния ЭМРВТ на опухолевый процесс путем изучения морфометрических, гистологических, гематологических и иммунологических параметров у экспериментальных животных. Анализ массы экспериментальных животных и их внутренних органов под воздействием аппарата «ТОР» показал, что их массы не менялись в опухолевой модели по сравнению с другими группами, а среди гематологических показателей положительные сдвиги выявлены именно в группе животных при воздействии аппарата «ТОР» по значениям гемоглобина, тромбоцитов и лейкоцитов. Объемы самих привитых опухолей достоверно были уменьшены под воздействием аппарата «ТОР» при сравнении с другими группами. Положительное влияние аппарата «ТОР» наблюдается по следующим гематологическим значениям: уменьшение количества базофилов, миелоцитов, сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов и повышение количества лимфоцитов. Анализ клеточных маркеров иммунитета у экспериментальных животных показал, что при воздействии ТОР на привитый опухолевый штамм наблюдается увеличение общего числа лимфоцитов, CD3+Т-лимфоцитов, CD4+Т-хелперов/индукторов, иммунорегуляторного индекса, киллерных клеток на фоне подавления экспрессии активационных маркеров лимфоцитов, таких как CD38 и CD95. Под воздействием технологии ТОР на опытной группе крыс получен некроз опухолевого образования и метаморфоз 4 степени.

Ключевые слова: эксперимент, переменное электромагнитное поле, электромагнитная радиоволновая терапия, иммунологические изменения

Sabirov D.¹✉, Yusupova O.¹, Pulatova K.²

¹ National Children's Medical Center, Tashkent, Uzbekistan

² Tashkent Medical Academy, Tashkent, Uzbekistan

The Effect of Electromagnetic Radio Waves on Walker's Experimental Tumor Model

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Sabirov D. – development, substantiation of the concept and conduct of the research itself, collection of material and its analysis, processing and interpretation of data, final approval of the article for publication; Yusupova O. – collection, comparative analysis and statistical processing of data, writing and editing of the article; Pulatova K. – collection, comparative analysis and statistical processing of data, writing and editing an article.

Submitted: 08.07.2024

Accepted: 21.10.2024

Contacts: gocjahongir@gmail.com

Abstract

A study was conducted to investigate the effect of electromagnetic radiation therapy (EMRT) on a tumor model using 100 experimental animals that were inoculated with the Walker tumor strain. The treatment of animals began 5–6 days after tumor implantation with electromagnetic radio wave therapy using a TOR device. The experimental results of the effects of EMRT on tumor growth were evaluated by examining morphometric, histological, hematological, and immunological parameters in the experimental animals. In order to conduct the study, 100 experimental animals were used. These animals were divided into four groups: 1 – animals with a developed tumor who underwent EMRT both before and after tumor implantation – the experimental group; 2 – animals with a developing tumor without EMRT; 3 – animals without a tumor who were exposed to EMRT; and 4 – intact animals. Analysis of cells from the primary immune system revealed a two-fold increase in neutrophil activity compared to data before or after exposure to alternating magnetic fields. In groups exposed to electromagnetic radio waves, there were significant increases in lymphocytes, CD3+T-lymphocytes, and CD4+T-helper/inducers. Exposure to medium-frequency electromagnetic radio waves in tumor cells from rats with implanted Walker tumors showed, during morphological examination, that they did not cause mass cell death but induced apoptosis of transformed cells and proliferation of immune cells. As a result, tumor growth inhibition by volume was 45.2% and by weight 31.7%, compared to the experimental and control groups of rats. EMV treatment for malignant neoplasms has oncolytic and immunomodulatory effects.

Keywords: experiment, alternating electromagnetic field, electromagnetic radio wave therapy, immunological changes

■ ВВЕДЕНИЕ

Нарушения в различных регуляторных системах организма и срывы механизмов гомеостаза, связанные со злокачественными опухолевыми процессами, могут усугубляться и осложняться в ходе интенсивных курсов химио- и лучевой терапии [1, 2]. При этом может развиваться порочный круг, который вызывает еще большую



супрессию противоопухолевой резистентности и ухудшает аутоиммунную интоксикацию в результате разрушения опухолевой массы. В связи с этим в последнее время в онкологии все больше внимания уделяется направлениям, которые ориентированы на необходимость мобилизации естественных защитных иммунных механизмов. Поэтому разработка эффективных подходов, в том числе и применение электромагнитной радиоволновой терапии (ЭМРВТ) как компонента комплексного противоопухолевого лечения, весьма актуальна и по сей день [3, 4]. Это обусловлено фундаментальным воздействием электромагнитных полей на метаболические процессы на молекулярно-кинетическом уровне [5, 6].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение влияния электромагнитных радиоволн на опухолевую экспериментальную модель и сравнительный анализ основных морфометрических, гистологических, гематологических и иммунологических параметров.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования экспериментальные животные были разделены на 4 группы: 1 – животные с развившейся опухолью и с проведением ЭМРВТ до и после имплантации опухолевого штамма – опытная группа; 2 – животные с развившейся опухолью без проведения ЭМРВТ; 3 – животные без опухоли с воздействием ЭМРВТ; 4 – интактные животные.

Первую и вторую группу до имплантации опухолевого штамма подвергли воздействию переменного магнитного поля – модуляции амплитуды 330 и 350 кГц (350 ± 15 кГц) средней частоты, генерируемого портативным устройством «ТОР», по 30 минут в течение 5 и 7 дней. Затем первую и вторую группу животных прививали опухолевым штаммом саркомы Уокера. В течение 5 дней в обеих группах наблюдался рост опухоли. Лечение животных начинали через 5–6 дней после имплантации опухоли с помощью устройства «ТОР» (аппарат терапевтический «ТОР» для лечения онкологических заболеваний, ТТ/М 00383/03/20), генерирующего электромагнитные радиоволны диапазона средней частоты внешнего колебательного контура 350 ± 15 кГц, длиной волны 909–857 метров, напряжением 10–12 В. Животных подвергали воздействию ЭМРВТ по 30 минут в течение 7 дней. У контрольных животных рост опухоли продолжался, и через 9 дней все животные погибли. Все животные опытной группы выжили и были забиты через 2 месяца. Для изучения гематологических и иммунологических параметров проводился забор крови из латеральной хвостовой вены по принятой методике. Для изучения воздействия ЭМРВТ на крыс проводили забор крови на соответствующие анализы до и после пятидневного воздействия. При этом проводили общий анализ крови и подсчет клеточных элементов периферической крови, а также давали оценку экспрессии CD3+, CD4+, CD8+, CD56+, CD20+, CD38+, CD95+ на клетках периферической крови экспериментальных животных.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У опытной группы на месте локализации опухоли после некротического отторжения появился рубец и восстановился волосяной покров. В контрольной группе рост опухоли продолжался, и через 9 дней все животные погибли.

Анализ гематологических показателей в первой группе до проведения ЭМРВТ показал, что при развитии опухолевого процесса в опытной группе наблюдается базофилия, эозинофилия, нейтропения, лимфопения. После воздействия ЭМРВТ наблюдается незначительный моноцитоз, нейтрофилез, а все остальные лимфоциты в пределах физиологической нормы.

Во второй группе до воздействия электромагнитных радиоволн развивается базофилия, эозинофилия, миелоцитоз, нейтрофилез, лимфопения.

Уровень гемоглобина в крови в опытной группе не имел достоверной разницы со значениями контрольной группы. Достоверное снижение уровня гемоглобина наблюдается только во второй группе – в 1,23 раза снижен по сравнению со значениями четвертой группы. В третьей группе уровень гемоглобина оставался в пределах нормы, что свидетельствует об отсутствии нежелательных последствий от применения ЭМРВТ аппаратом «ТОР». Также обнаружено, что в опытной группе наблюдается достоверное повышение уровня гемоглобина в 1,2 раза по сравнению со значением второй группы. Следовательно, применение аппарата «ТОР» на экспериментальных животных с опухолью Уокера демонстрирует отсутствие нежелательных эффектов и повышение уровня гемоглобина до контрольных значений.

В опытной группе и во второй группе число эритроцитов было достоверно снижено по сравнению со значениями контрольной группы в 1,2 раза.

Во второй группе число тромбоцитов в крови было достоверно снижено по сравнению со значениями контрольной группы в 1,9 раза. Следовательно, в группах с опухолью с применением и без применения ЭМРВТ наблюдается снижение числа тромбоцитов в периферической крови. Причем во второй группе выявлено самое низкое значение тромбоцитов.

Относительное число лимфоцитов было достоверно снижено в первой и во второй группах животных с опухолью по сравнению с данными групп контроля. В первой группе после лечения наблюдается достоверное повышение числа лимфоцитов по сравнению со значением второй группы в 1,5 раза, где не применяли электромагнитные радиоволны. Здесь число лимфоцитов было достоверно снижено (табл. 1, рис. 1).

Проведено иммунологическое исследование, которое включало возможность изучения рецепторного молекулярного аппарата клеточного звена иммунитета (Т- и В-лимфоциты с применением специфических моноклональных антител). Так, анализ клеток первичного звена иммунитета показал повышение активности нейтрофилов в 2 раза по сравнению с данными до или без воздействия переменного магнитного поля.

Анализ экспрессии маркеров Т-клеточного звена иммунитета показал, что относительное содержание CD3+Т-лимфоцитов было достоверно снижено в первой и второй группах по сравнению с данными контрольной группы. В первой группе экспрессия CD3+ была повышена в 1,3 раза по отношению ко второй группе.

Анализ Т-клеточного звена иммунитета, включающего характеристику субпопуляций CD4+Т-хелперов/индукторов и CD8+Т-лимфоцитов выявил подавление субпопуляции CD4+Т-хелперов/индукторов у животных относительно контрольной группы. Экспрессия CD4+ на Т-хелперах/индукторах в группе крыс с опухолью была подавлена в 1,4 раза по сравнению с контрольными животными. В первой группе наблюдается повышение экспрессии этого показателя в 1,2 раза по сравнению



Таблица 1
Гематологические показатели экспериментальных животных при воздействии радиоволн, М±m
Table 1
Hematological parameters of experimental animals exposed to radio waves, M±m

Показатель	1-я группа (опухоль + TOP), опытная группа	2-я группа (опухоль, без TOP)	3-я группа (интактная группа + TOP)	4-я группа (интактная группа), контрольная группа
Базофилы на 100 кл, %	2,25±0,15*↑	4,5±0,25*^↑	0,85±0,16↑	0,5±0,022
Эозинофилы на 100 кл, %	3,15±0,18↑	2,5±0,15↑	0,5±0,042	0
Миелоциты на 100 кл, %	2,15±0,09*^↑	3,65±0,17*↑	1,0±0,02	0,5±0,021
Юные нейтрофилы, %	1,25±0,06*↓	1,0±0,015*↓	2,0±0,11	3,0±0,16
Палочкоядерные нейтрофилы, %	3,25±0,58↑	0,5±0,023*	0↓	2,0±0,062
Сегментоядерные нейтрофилы, %	34,75±1,58*^↑	41,5±0,52*↑	21,5±1,32*	14,5±0,82
Лимфоциты на 100 кл, %	50,25±3,25*^↓	42,0±2,15*↓	70,5±5,26	79,5±5,2
Моноциты на 100 кл, %	1,75±0,058*↑	4,5±0,19*^↑	2,0±0,11*↑	0

Примечание: * достоверность различий значений данных групп со значением контроля; ^ достоверность различий значений между группами.

со значением второй группы. Отсюда следует, что количество лимфоцитов, Т-лимфоцитов и Т-хелперов/индукторов в группах животных с опухолью было снижено. Однако в группах с применением электромагнитных радиоволн наблюдается достоверное повышение лимфоцитов, CD3+Т-лимфоцитов и CD4+Т-хелперов/индукторов. Это свидетельствует о том, что наблюдаемый дефицит популяции Т-лимфоцитов при опухолевом процессе обусловлен преимущественным подавлением числа CD4+Т-хелперов/индукторов, являющихся необходимым звеном в образовании

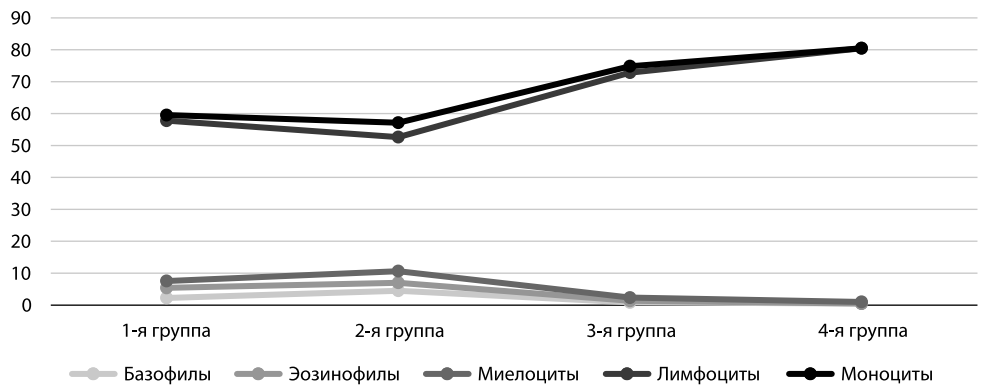


Рис. 1. Гематологические показатели экспериментальных животных при воздействии радиоволн
Fig. 1. Hematological parameters of experimental animals exposed to radio waves

Примечание: положительные сдвиги гематологических показателей выявлены именно в группе животных при воздействии аппарата «ТОР» по значениям гемоглобина, тромбоцитов и лейкоцитов. Объемы самих привитых опухолей достоверно были уменьшены при воздействии аппарата «ТОР» в сравнении с другими группами.

клеток-киллеров, осуществляющих непосредственную элиминацию опухолевых клеток. Соотношение CD4+/CD8+ (иммунорегуляторный индекс – ИРИ) достоверно подавлено в группе животных с опухолью в сравнении со значением контрольной группы. Причем во второй группе наблюдается самое низкое значение ИРИ, которое составило 0,81 при контрольном значении 1,7. Следовательно, ИРИ был в 2 раза ниже значения контроля. Подавление ИРИ происходит за счет снижения относительного числа CD3+CD4+Т-лимфоцитов и повышения относительного содержания CD3+CD8+Т-лимфоцитов. Так, в группе животных с привитой опухолью выявлен Т-клеточный дисбаланс, который проявляется клеточным иммунодефицитом, сформированным на фоне опухолевого процесса. Данный Т-клеточный иммунодефицит был сопряжен с подавлением основных иммунорегуляторных субпопуляций CD3+CD4+Т-хелперов/индукторов на фоне повышения CD3+CD8+Т-цитотоксических лимфоцитов и вследствие этого с подавлением ИРИ.

На фоне воздействия электромагнитных волн наблюдается улучшение состояния Т-клеточного иммунитета. Выявлено достоверное снижение экспрессии CD20+ на В-лимфоцитах в первой группе по сравнению со значением второй группы. Это свидетельствует о подавлении активации В-лимфоцитов и гуморального иммунитета, который наблюдается на фоне прогрессирования опухолей. Показано, что экспрессия CD56+ во второй группе снижена по сравнению со значением контрольной группы. Но в первой группе наблюдается достоверное повышение числа ЕКК (естественные клетки – киллеры) по сравнению со второй группой. Данная картина вызывает большой научный и практический интерес в связи с тем, что ЕКК обладают высокой противоопухолевой активностью и осуществляют активный цитолиз опухолевых клеток. Из маркеров активации лимфоцитов изучена экспрессия CD95+ FAS/ APO1 и CD38+ на Т- и В-лимфоцитах. Анализ экспрессии маркера поздней активации CD95+ на активированных лимфоцитах в периферической крови у животных показал, что в группах животных с опухолью эти показатели были достоверно повышены по сравнению с данными интактных животных. Причем во второй группе наблюдается достоверное повышение экспрессии CD95+ по сравнению с данными первой группы в 1,6 раза.

Это свидетельствует о том, что при опухолевом процессе наблюдается достоверное повышение активационных маркеров лимфоцитов, в частности маркеров поздней активации, которые способствуют поддержанию длительного воспалительного процесса в организме, который может оказывать как истощающее, так и повреждающее воздействие. Известно, что CD38+ является маркером с мультифункциональным действием, играющим важную иммунорегуляторную роль. Он способствует усилению синтеза цитокинов и активации киназ, что, в свою очередь, обуславливает хронизацию процесса [7]. Следовательно, проведение ЭМРВТ вызвало активацию Т-клеточного иммунитета, которое, скорее всего, проявляется в усилении протективных процессов.

В группе с опухолью, обработанной TOP, значение экспрессии CD-маркеров на Т- и В-лимфоцитах повышено по отношению к четвертой группе контроля в 1,3 раза. Во второй группе оно повышено в 16 раз, а в третьей группе значения не различались. Это свидетельствует о том, что при опухолевом процессе наблюдается достоверное повышение активационных маркеров лимфоцитов, в частности маркеров поздней активации, которые способствуют поддержанию воспалительного

Таблица 2
Оценка экспрессии CD-маркеров на Т- и В-лимфоцитах на фоне воздействия аппарата «ТОР», М±m
Table 2
Evaluation of the expression of CD-markers on T- and B-lymphocytes against the background of exposure to the TOR apparatus, M±m

Иммунологические значения	1-я группа (опухоль + ТОР), опытная группа	2-я группа (опухоль, без ТОР)	3-я группа (интактная группа + ТОР)	4-я группа (интактная группа), контрольная группа
Лимфоциты, %	49,5±0,35*^	32,3±0,62*	68,4±0,77	73,4±0,99
CD3+, %	37,4±1,24*^	29,4±0,65*	48,4±0,48	52,7±1,66
CD3+CD4+, %	29,3±0,49*^	25,2±0,74*	42,3±0,76	41,8±1,49
CD3+CD8+, %	26,6±1,15*	24,7±1,23*	16,2±1,01	14,9±1,12
CD3+CD4+/CD3+CD8+	1,21±0,07*^	0,81±0,05*	1,52±0,07	1,7±0,02
CD3-CD20-, %	24,6±0,63	19,5±0,24^	23,1±0,61	22,1±0,36
CD56+, %	28,4±1,21^	19,3±0,51*	20,7±1,22*	21,1±0,43
CD95+, %	21,71±0,33*^	24,64±0,4*	18,24±1,21	17,5±0,14
CD38+, %	24,11±1,13*^	29,4±0,35*	21,24±0,17	18,7±0,67

Примечание: * достоверность различий значений данных групп со значением контроля; ^ достоверность различий значений между группами.

процесса в организме, а также длительной выработке про- и противовоспалительных цитокинов, которые могут оказывать как истощающее, так и повреждающее воздействие (табл. 2, рис. 2).

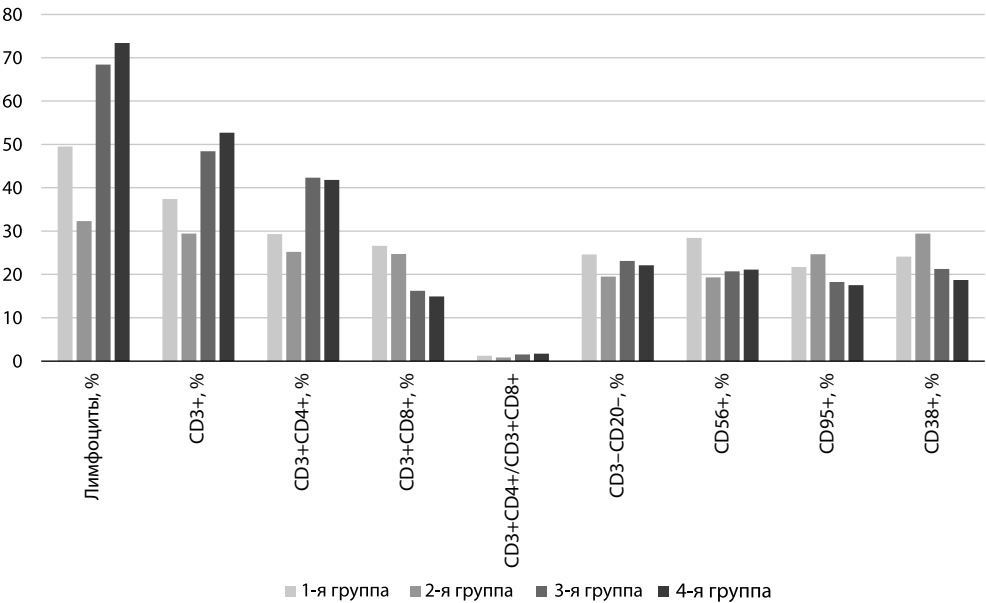


Рис. 2. Оценка экспрессии CD-маркеров на Т- и В-лимфоцитах на фоне воздействия аппарата «ТОР»
Fig. 2. Evaluation of the expression of CD-markers on T- and B-lymphocytes against the background of exposure to the TOR apparatus

Анализ клеточных маркеров иммунитета у экспериментальных животных показал, что при воздействии «ТОР» на привитый опухолевый штамм наблюдается повышение общего числа лимфоцитов, CD3+Т-лимфоцитов, CD4+Т-хелперов/индукторов, ИРИ, киллерных клеток на фоне подавления экспрессии активационных маркеров лимфоцитов, таких как CD38 и CD95.

Морфометрический анализ органов крыс опытной группы показал недостоверное снижение массы селезенки (0,72 г) по сравнению с нормальными животными (0,95 г). Масса печени крыс опытной группы составила 5,9 г по сравнению с 7,61 г у нормальных животных. Но для подтверждения этого факта были проведены повторные исследования с воздействием переменного магнитного поля – модуляции амплитуды высоких и низких частот, не входящих в диапазон средней частоты, которые показали, что 33,3% крыс из контрольной группы после трансплантации опухолевого штамма погибли через 7 дней. Через 12 дней погибли и остальные 66,7%. 70% крыс из группы с предварительным облучением электромагнитными волнами погибли через 12 дней, а 30% прожили 20 дней, что в 1,7 раза дольше (табл. 3, рис. 3).

Результаты воздействия электромагнитных радиоволн средней частоты на опухолевые клетки крыс с имплантированной опухолью Уокера показали при морфологическом исследовании, что они не вызывают массовой гибели клеток, но индуцируют апоптоз трансформированных клеток и пролиферацию иммунокомпетентных клеток. Так, торможение роста опухоли по объему составило 45,2%, по массе – 31,7% при сравнении опытной и контрольной групп крыс.

Гистологическая картина органов крыс с высокой пролиферацией клеток тканей (печень и селезенка), не затронутых опухолевым процессом, соответствует норме. Также был исследован тимус, который показал повышение лимфопролиферативной активности в нем на фоне воздействия электромагнитных волн. Активность выражалась в снижении стромально-паренхиматозного коэффициента в 1,7 раза ($p<0,05$) и тенденции к приросту размеров коркового вещества долек тимуса ($p<0,01$) относительно аналогичной группы животных без воздействия радиоволн. Более высокая лимфопролиферативная активность в тимусе являлась достоверным увеличением

Таблица 3
Показатели общего анализа крови и массы внутренних органов крыс, M±m
Table 3
Indicators of the total blood count and mass of internal organs of rats, M ± m

Значение	1-я группа (опухоль + TOR), опытная группа	2-я группа (опухоль без TOR)	3-я группа (интактная группа + TOR)	4-я группа (интактная группа), контрольная группа
Масса крыс, г	85,65±9,15	82,85±9,6	78,2±8,45	88,65±7,68
Селезенка, г	0,52±0,07*	0,77±0,04*^	0,32±0,04	0,29±0,01
Печень, г	4,28±0,51	5,25±0,61*	3,33±0,48	3,55±0,52
Гемоглобин, г/л	102,4±6,59	88,6±3,11*^	120,6±9,54	108,52±4,55
Эритроцит, ×10 ¹² /л	3,89±0,24*	3,495±0,42*	4,52±0,56	4,17±0,54
Тромбоцит, ×10 ⁹ /л	440,22±34,6	292,56±15,8*^	537,6±41,6	543,5±35,2
Лейкоцит, ×10 ⁹ /л	12,2±1,33*	16,4±0,95*^	7,14±0,96	6,65±0,94
Штамм Уокера, см/г	16,51±2,2*^/8,5±1,14*^	30,6±2,66/12,45±1,45	–	–

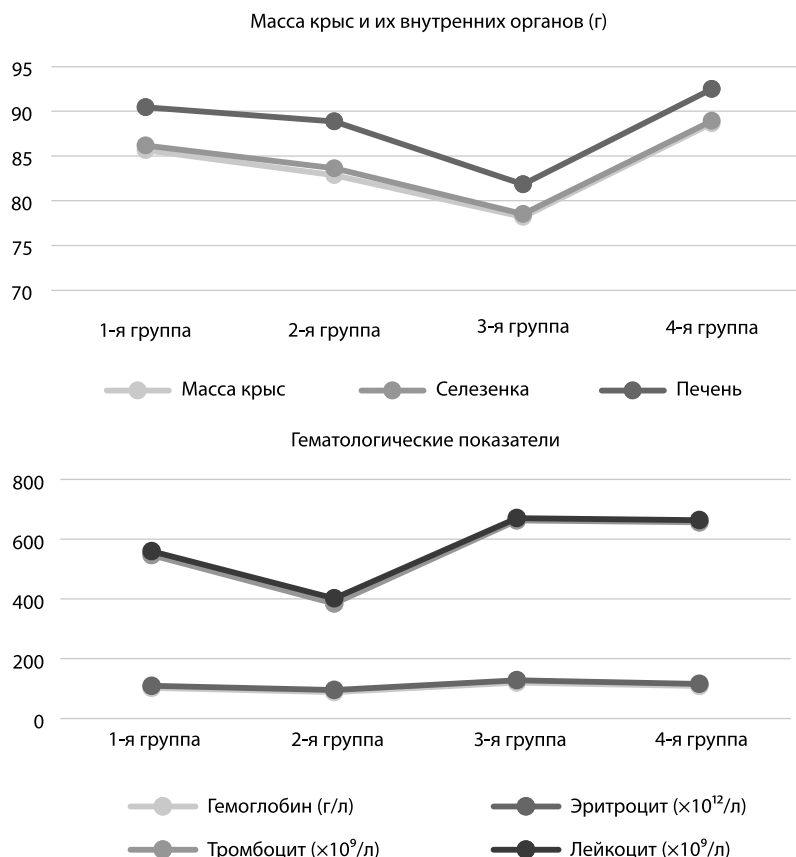


Рис. 3. Показатели массы внутренних органов и гематологические показатели крыс
Fig. 3. Indicators of the mass of internal organs and hematological parameters of rats

относительной площади коркового вещества долек тимуса в 1,25 раза и снижением стромально-паренхиматозного коэффициента в 1,4 раза по сравнению с показателями нормы. В периферических органах иммунной системы, в селезенке, в отличие от тимуса, не удалось выявить различий по показателям лимфопролиферативной активности.

Анализ массы животных и их внутренних органов под воздействием аппарата «ТОР» показал, что их массы не менялись в опухолевой модели по сравнению с другими группами. Положительные сдвиги среди гематологических показателей выявлены именно в группе животных при воздействии аппарата «ТОР» по значениям гемоглобина, тромбоцитов и лейкоцитов.

Объемы самих привитых опухолей достоверно были уменьшены при воздействии аппарата «ТОР» по сравнению с другими группами. По образцам опухолевой ткани выявлены крупные некротические участки без клеточной массы, замещение некротических участков соединительной тканью. Окружающие ткани подвергнуты атрофическим, дистрофическим, склеротическим изменениям.

■ ВЫВОДЫ

1. Системное воздействие ЭМРВТ в эксперименте показало, что отрицательного влияния на гематологические, иммунологические, морфометрические и гистологические показатели не наблюдается. Отсутствует гибель соматических клеток, индуцируется апоптоз трансформированных опухолевых клеток.
2. Мониторинг системного воздействия ЭМРВТ в группе привитой опухоли показал повышение уровня гемоглобина, общего числа лимфоцитов; снижение уровня лейкоцитов, базофилов и моноцитов в периферической крови у экспериментальных животных. Иммунологическое исследование показало Т-клеточный дисбаланс, обусловленный подавлением CD3+, CD4+, ИРИ, CD95+ и CD38+ на фоне повышения цитотоксических CD8+, CD20+ и CD56+ в периферической крови у экспериментальных животных.
3. Изучение морфометрических данных в эксперименте выявило снижение массы селезенки в 1,5 раза, массы печени – в 1,3 раза у привитых опухолевой моделью животных с ЭМРВТ. Наблюдается торможение роста по объему на 45,2%, а по массе – на 31,7% у привитых опухолевой моделью животных с ЭМРВТ.
4. Применение ЭМРВТ на экспериментальных животных при лечении злокачественных новообразований обладает онколитическим и иммуномодулирующим эффектами.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Sabirov D.R. Optimization of immunological correction methods in the process of oncological therapy: dissertation of the Doctor of Medical Sciences. Tashkent, 2023.
2. Mangiacasale R., Tritarelli A., Sciamanna I., et al. Normal and cancer-prone human cells respond differently to extremely low frequency magnetic fields. *FEBS Lett.* 2001;487:397–403. doi: 10.1016/S0014-5793(00)02376-0.
3. Lambrozo J. Electric and magnetic fields with a frequency of 50–60 Hz: Assessment of 20 years of research. *Indoor Built Environ.* 2001;10:299–305.
4. Lacy-Hulbert A., Metcalfe J.C., Hesketh R. Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J.* 1998;12:395–420.
5. Kheifets L., Ahlbom A., Crespi C.M., et al. A pooled analysis of extremely low-frequency magnetic fields and childhood brain tumors. *Am. J. Epidemiol.* 2010;172:752–761.
6. Karipidis K. Survey of residential power-frequency magnetic fields in Melbourne, Australia. *Radiat. Prot. Dosim.* 2015;163:81–91.
7. Kapri-Pardes E., Hanoch T., Maik-Rachline G., et al. Activation of signaling cascades by weak extremely low frequency electromagnetic fields. *Cell. Physiol. Biochem.* 2017;43:1533–1546. doi: 10.1159/000481977