

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОМАГНИТОТЕРАПИИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ АРТРИТЕ

<sup>1</sup>Войченко Н. В., <sup>1</sup>Волотовская А. В., <sup>2</sup>Рыжковская Е. Л., <sup>2</sup>Кузнецова Т. Е., <sup>2</sup>Улащик В. С.

<sup>1</sup>Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*Введение.* Выбор физиотерапевтического метода в лечении заболеваний суставов остается актуальной проблемой физиотерапии.

*Цель:* сравнительное изучение эффективности применения низкочастотного импульсного магнитного поля (НИМП) и его сочетания с инфракрасным светом (фотомагнитотерапия) при экспериментальном артрите.

*Материал и методы.* Исследования проведены на 50 крысах-самцах. Использовали зимозановую модель артрита. Животные были разделены на 4 группы, 1-я группа – интактные животные, 2-я – животные с артритом без лечения, в 3-й группе проводили курсовое воздействие НИМП, в 4-й группе НИМП в сочетании с инфракрасным светом. Выполняли клинико-лабораторное, морфо-гистохимическое исследование.

*Результаты.* Фотомагнитотерапия в большей степени, чем НИМП, снижает активность воспалительного процесса, а также приводит к частичной нормализации структуры хрящевой ткани.

*Выводы.* Полученные данные могут быть использованы для разработки дифференцированных методик физиотерапии в ревматологии.

**Ключевые слова:** магнитотерапия, инфракрасный свет, сочетанная физиотерапия, исследования на животных.

*Для цитирования:* Эффективность фотомагнитотерапии при экспериментальном артрите / Н. В. Войченко, А. В. Волотовская, Е. Л. Рыжковская, Т. Е. Кузнецова, В. С. Улащик // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 2. С. 166-172. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-2-166-172>

### Введение

При патологии опорно-двигательного аппарата широко применяют магнитотерапию и светотерапию, что связано с оказанием ими противовоспалительного, противоотечного, трофико-регенераторного эффекта, а также с улучшением регионарного кровообращения [1-3].

Перспективное направление физиотерапии – сочетанное воздействие в течение одной процедуры на один и то же участок тела двумя и более лечебными физическими факторами [4, 5]. Весьма важно в таких методиках определение наиболее эффективных сочетаний разных физических факторов с целью получения не только суммации лечебных эффектов, но и возможного потенцирования [6].

**Цель** настоящего исследования: сравнительное изучение эффективности терапевтического действия низкочастотного импульсного магнитного поля (НИМП) и НИМП в сочетании с инфракрасным светом (фотомагнитотерапия) при экспериментальном артрите.

### Материал и методы

Объект исследования: белые лабораторные крысы-самцы (50 особей) со средней массой  $180 \pm 15$  г, содержащиеся в виварии Института физиологии НАН Беларуси. Работа проведена в соответствии с этическими принципами и нормами проведения биомедицинских исследований с участием животных.

Были сформированы 4 группы. 1 группу составили 10 здоровых животных (интактные). Животным 2-4 групп индуцировали зимозановый артрит путем введения 0,2 мл 1,5% раствора

зимозана в голенопредплюсневый сустав задней лапы [7].

Во 2 группе (контроль) (20 животных) воздействие лечебными физическими факторами не проводили, осуществляли только забор биологического материала на четвертые и на 16-е сутки развития артрита.

Животным 3 группы (НИМП) (10 животных) с 4-го дня развития экспериментального артрита проводили воздействие НИМП с магнитной индукцией  $25 \pm 5$  мТл.

Животным 4 группы (НИМП+ИК) (10 животных) с 4-го дня развития экспериментального артрита проводили фотомагнитотерапию: НИМП (индукция  $25 \pm 5$  мТл) в сочетании с инфракрасным светом (длина волны 920–960 нм, плотность потока мощности излучения  $4,5$  мВт/см<sup>2</sup>), 15 минут, 1 раз в день, 10 процедур на курс, ежедневно (с перерывом в выходные дни). Для проведения фотомагнитотерапии и магнитотерапии использовали аппарат «ФотоСПОК» (ОДО «Магномед»). Эксперимент завершали на 16-е сутки с соблюдением правил гуманного обращения с животными.

Для оценки степени выраженности воспалительной реакции измеряли окружность голенопредплюсневых суставов; учитывали внешние признаки воспаления (наличие синовита, болезненности при пальпации, изменение цвета кожных покровов над воспаленным суставом, ограничение объема пассивных и активных движений).

СОЭ определяли унифицированным микрометодом Панченкова (Назаренко Г. И., 2002), СРБ в сыворотке крови – иммунотурбидиметри-

ческим методом, активность щелочной фосфатазы (ЩФ) – кинетическим методом с использованием коммерческих наборов «Согтау» (Польша). Определение циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) осуществляли по Ю. А. Гриневич и А. И. Алферову (1984).

Тепловизионное исследование проводили с помощью термографа «Иртис-2000 МЕ», Россия, обработку полученных термограмм – в специально разработанной прикладной программе «инфракрасный анализатор IRP-review».

Исследование поверхностной микрогемодинамики неинвазивным спекл-оптическим методом проводили с помощью лазерной спекл-оптической системы контроля микроциркуляции «Speckle-SCAN» (Беларусь) [8]. Для оценки изменения параметров микроциркуляции анализировался полосовой коэффициент спектра флюктуации интенсивности спекл-поля (Kb).

Для морфологического анализа брали образцы всех составных компонентов тканей сустава в виде суставного блока и приготавливали криостатные срезы толщиной 10 мкм для гистологического, и 15 мкм – для гистохимического исследования. Активность ферментов, характеризующих метаболическую активность клеток, сукцинат- и лактатдегидрогеназу (СДГ и ЛДГ) определяли тетразолиевым методом по методике Лойда [9]. Изучение микропрепаратов, морфометрию и изготовление микрофотографий выполняли с помощью светового микроскопа MPV-2 («Leitz», Германия).

Для статистического анализа использовали метод дисперсионного анализа. Предположения, лежащие в основе метода о гомогенности дисперсий, проверялись критерием Бартлетта. При выполнении анализа после установления общей неоднородности выполнялись расчеты средних и 95% доверительных интервалов в сравниваемых группах, а также велись апостериорные парные сравнения групп по критерию Тьюки. Расчеты проводились в статистическом пакете R, версия 3.6. Результаты анализа считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### **Результаты и обсуждение**

У всех животных 2-4 групп на 4-й день после введения зимозана в голенопредплюсневый сустав развивался артрит. При этом визуально у животных определяли отек сустава с переходом на суставы плюсны, деформацию в области сустава. Движения в суставе у животных были ограничены, отмечалась болезненность при пальпации (крысы отдергивали лапу). Окружность пораженного сустава на 4-е сутки эксперимента составляла 3,24 см (3,2; 3,28), у здоровых животных – 2,28 см (2,24; 2,32). Кожа над суставом имела синюшный цвет, температура в области сустава была повышена и составила 34,3°C (33,4; 35,2), тогда как у здоровых животных составляла 24,3°C (23,4; 25,2). Наблюдали также ухудшение микроциркуляции в области сустава, в который вводили зимозан: полосовой коэффициент флюктуации интенсивности спекл-поля составил 0,18 отн. ед. (0,17; 0,2), что на 28,6%

выше, чем у здоровых животных ( $p < 0,001$ ).

При морфологическом исследовании у контрольных животных на 4-е сутки после внутрисуставной инъекции зимозана во всех элементах «синовиальной среды сустава» определялась выраженная инфильтрация клетками лейкоцитарного ряда. Значительные структурные изменения наблюдались в суставной капсуле, в частности в ее синовиальной оболочке. При этом микроструктура суставного хряща была практически сохранена: хрящевой матрикс не разрушался и хондроциты в своем большинстве по размерам и форме приближались к интактным.

При гистохимическом исследовании в клетках синовиальной оболочки и суставного хряща животных контрольной группы на 4-й день моделирования артрита по сравнению с интактными крысами отмечалось значительное падение активности СДГ – одного из важных ферментов энергетического обмена, показателя процессов в цикле Кребса. Наблюдавшееся при этом в условиях воспаления повышение активности ЛДГ – ключевого фермента гликолиза – вероятно, связано с компенсаторными механизмами. Так, в синовиоцитах крыс с артритом активность СДГ составляла 37,1 у. е. (35,6; 38,5), тогда как у интактных животных – 54,6 у. е. (51,9; 57,2),  $p < 0,001$ . В хондроцитах животных с артритом на 4-е сутки развития воспаления активность СДГ также была ниже в сравнении с интактными животными – 34,7 у. е. (32,8; 36,7) и 52,0 у. е. (49,9; 54,1), соответственно,  $p < 0,001$ .

В контрольной группе крыс на 4-е сутки развития артрита активность ЛДГ в синовиоцитах практически не отличалась от уровня ЛДГ у интактных животных и составляла 114,65 у. е. (112,0; 117,3) и 110,6 у. е. (108,1; 113,1), соответственно ( $p > 0,05$ ).

Уровень ЛДГ в хондроцитах у крыс с артритом был выше, чем у интактных животных, и составил 132,04 у. е. (128,9; 135,2). У животных интактной группы в хондроцитах этот показатель составлял: 117,9 у. е. (115,9; 120,0),  $p < 0,001$ .

О развитии активного воспалительного процесса на 4-е сутки после введения зимозана свидетельствовали лабораторные показатели (табл. 1). В сравнении с интактными, у животных с артритом были повышены как показатели острой фазы воспаления (СОЭ, СРБ), так ЦИК. О развитии метаболических нарушений свидетельствовал повышенный уровень ЩФ и свободного оксипролина в сыворотке крови животных.

На 16-е сутки у животных, не получавших физиотерапию, признаки воспалительного процесса сохранялись – отек голенопредплюсневой сустава, в который вводили зимозан, продолжал нарастать, наблюдались гиперемия и умеренное повышение температуры. Пальпация сустава доставляла животным дискомфорт, при передвижении крысы не наступали на поврежденную лапу. Окружность воспаленного сустава увеличилась на 7,4% относительно 4-х суток и составила на 16-е сутки 3,48 см (3,44; 3,52). Температура кожи в области воспаленного сустава незначительно снизилась относительно 4-х су-

ток (на 8,8%) и составила 31,0°C (30,1; 31,9). О нарушении микроциркуляции в области сустава свидетельствовало дальнейшее возрастание полусового коэффициента до 0,26 отн. ед. (0,25; 0,28), что на 85,7% выше, чем у здоровых животных ( $p < 0,001$ ).

Лабораторные маркеры воспаления (СОЭ и СРБ) к 16-м суткам были ниже на 22 и на 13,6% относительно значений на 4-е сутки. Вместе с тем их уровни были значительно выше значений, определенных у здоровых крыс (табл. 2).

В суставной сумке, синовиальной оболочке, полости сустава и в суставном хряще на 16-е сутки при моделировании зимозанового артрита наблюдались выраженные дегенеративно-дистрофические изменения. Синовиальная оболочка была отечна, гиперемирована, гипертрофирована. В ее структуре отмечалось возрастание пространств между коллагеновыми волокнами, разрыхление пучков, выявлялись выраженная пролиферация синовиоцитов и обильный воспалительный лейкоцитарный инфильтрат. Граница между клетками часто не выявлялась (рис. 1 А). Деструктивные изменения хряща обнаруживались, как правило, во всех зонах, которые имели нечеткое очертание. Поверхностный слой был истончен, а на отдельных участках практически не выявлялся. В промежуточной зоне кроме хондроцитов с четкой структурой ядра встречались измененные хрящевые клетки с пикнотизированными ядрами. Нередко эти изменения сводились к цитолизу с явлениями лизиса как цитоплазмы, так и ядра хондроцита. В цитоплазме

данных клеток регистрировалась высокая активность ЛДГ (рис. 1 Б).

В клетках синовиальной оболочки на 16-е сутки по сравнению с таковыми на 4-й день моделирования артрита и интактными животными выявлялось повышение активности СДГ на 16-е сутки до 59,0 у. е. (57,5; 60,5) ( $p < 0,001$ ). Уровень ЛДГ в сравнении с 4-ми сутками практически не увеличился и составлял 114,8 у. е. (112,0; 117,7).

В клетках суставного хряща у животных контрольной группы (4-е и 16-е сутки) изменений активности СДГ практически не выявлено. По сравнению с показателями физиологической нормы активность фермента по-прежнему оставалась низкой – 35,7 у. е. (34,2; 37,3). Активность ЛДГ продолжала расти и к 16-му дню составляла 141,7 у. е. (138,8; 144,6).

В клетках синовиальной оболочки на 16-е сутки по сравнению с таковыми на 4-й день моделирования артрита и интактными животными выявлялось повышение активности СДГ на 16-е сутки до 59,0 у. е. (57,5; 60,5) ( $p < 0,001$ ). Уровень ЛДГ в сравнении с 4-ми сутками практически не увеличился и составлял 114,8 у. е. (112,0; 117,7).

В клетках суставного хряща у животных контрольной группы (4-е и 16-е сутки) изменений активности СДГ практически не выявлено. По сравнению с показателями физиологической нормы активность фермента по-прежнему оставалась низкой – 35,7 у. е. (34,2; 37,3). Активность ЛДГ продолжала расти и к 16-му дню составляла 141,7 у. е. (138,8; 144,6).

**Таблица 1.** – Результаты лабораторного обследования животных (4-е сутки),  $n=20$ , среднее (95% ДИ)

**Table 1.** – The results of laboratory examination of animals (4th day)

Группа	СОЭ, мм/час	ЦИК, усл. ед.	ЩФ, Ед/л	СРБ, мг/мл	Свободный оксипролин, мкмоль/л
Интактные	2,9 (2,7; 3,0)	24 (22; 26)	171,6 (154,8; 187,8)	1,3 (1,1; 1,5)	16,4 (15,6; 3,0)
Контроль (артрит, 4-е сутки)	8,2 (7,7; 8,6)*	52 (49; 55)*	304,8(289,8; 318,6)*	40,4 (37,5; 43,4) *	20,2(18,7; 21,7) *

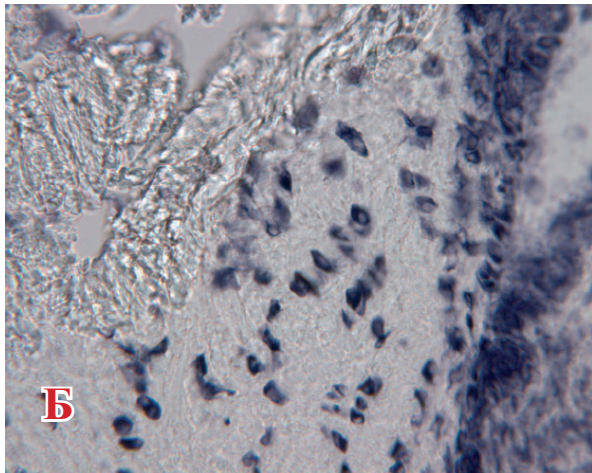
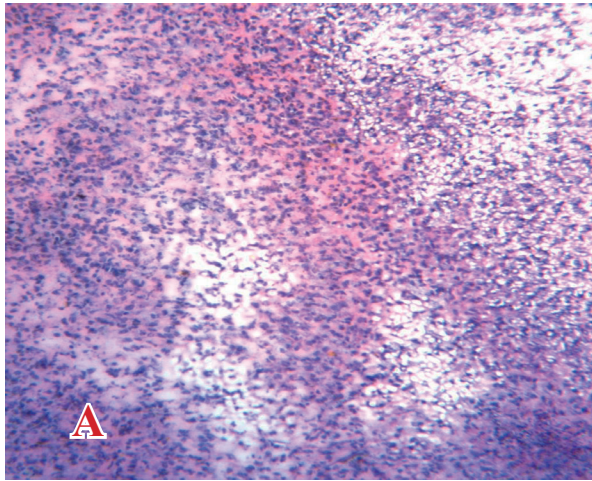
Примечание – \* – различия статистически значимы при  $p < 0,001$

**Таблица 2.** – Результаты лабораторного обследования животных (16-е сутки),  $n=30$ , среднее (95% ДИ)

**Table 2.** – The results of laboratory examination of animals (16th day)

Группа	СОЭ, мм/час	ЦИК, усл. ед.	ЩФ, Ед/л	СРБ, мг/мл	Свободный оксипролин, мкмоль/л
Контроль (артрит, 16-е сутки)	6,4 (6,0; 6,8)	60 (56; 65)	294,6 (281,4; 306,6)	34,9 (32,3; 37,5)	34,3 (33,1; 35,5)
НИМП	4,6 (4,2; 5,0)*	43(40; 45)*	251,4 (244,8; 258,0)*	21,2 (19,1; 23,3)*	24,3 (23,6; 25,0) *
НИМП+ Инфракрасный	3,2 (2,9; 3,5)*, **	29 (26; 31)*, **	222,0 (216,6; 228,0)*	6,1(4,7; 7,5)*, **	19,4 (18,7; 20,1)*, **

Примечания – \* – различия статистически значимы по сравнению с контрольной группой при  $p < 0,001$ , \*\* – различия статистически значимы по сравнению с группой НИМП при  $p < 0,001$



**Рисунок 1. – Деструктивные и воспалительные изменения в тканевых структурах сустава крыс на 16-е сутки развития экспериментального артрита. Микрофото.**

**Метод: гематоксилин-эозин (А), ЛДГ (Б).**

**Об $\times$ 10 (А);  $\times$ 25 (Б)**

**Figure 1. – Destructive and inflammatory changes in the tissue structures of the joint of rats on the 16th day of the development of experimental arthritis. Microphoto. Method: hematoxylin-eosin (A),**

**LDH (B).  $\times$ 10 (A);  $\times$ 25 (B)**

В результате проведенного лечения с использованием НИМП отмечалась положительная динамика проявлений воспалительного процесса, которая подтверждалась клиническими, лабораторными и морфологическим исследованиями.

Окружность сустава на 16-е сутки развития воспаления у животных, получивших воздействие НИМП, была равна 3,08 см (3,04; 3,12), что на 4,6% меньше, чем у животных этой группы до начала лечения. Относительно животных с артритом, не получавших воздействия физическими факторами, произошло статистически значимое изменение окружности сустава ( $p < 0,001$ ). Отмечалось также уменьшение полосового коэффициента спектра флюктуации интенсивности спекл-поля: на 16-е сутки Кб составил 0,16 отн. ед. (0,15; 0,18), что свидетельствует о восстановлении микроциркуляции ( $p < 0,0001$  по отношению к контрольной группе на 16-е сутки). Данный параметр практически соответствовал

уровню Кб интактных животных (0,14 отн. ед. (0,13; 0,15) ( $p > 0,05$ ). Температура в области голенопредплюсневых суставов, в который была проведена инъекция зимозана, снизилась на 14,2% по отношению к 4-м суткам и составила к 16-м суткам 29,4°C (33,4; 35,2), однако в сравнении с температурой сустава животных контрольной группы (16-е сутки) различия не были статистически значимыми.

В результате проведенного лабораторного обследования установлено, что курсовое применение магнитного поля снижает активность воспалительного процесса, что подтверждается положительной динамикой всех исследуемых лабораторных параметров (табл. 2).

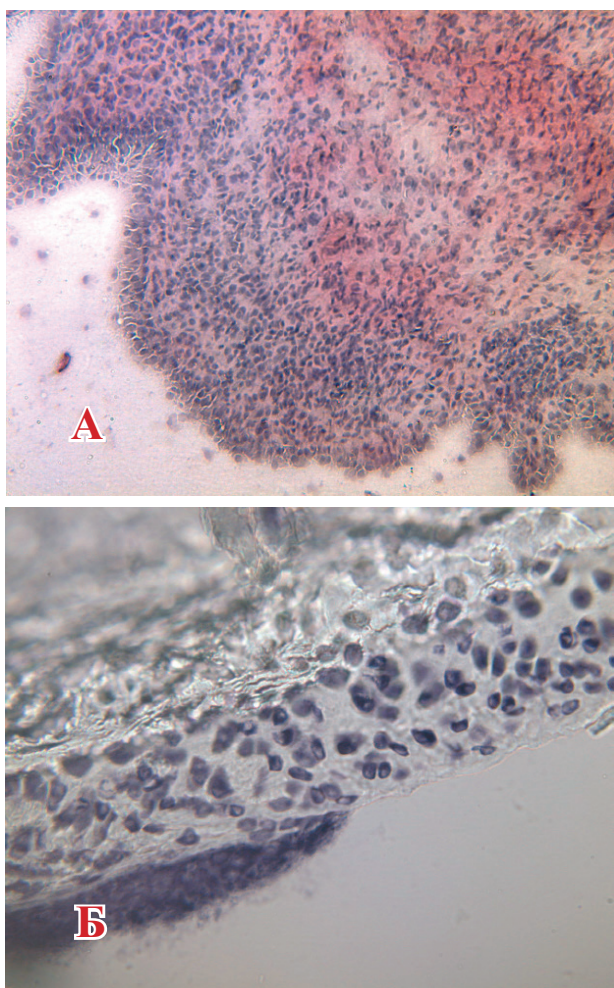
Во всех составляющих компонентах синовиальной среды сустава контрольных животных, подвергшихся воздействию НИМП, отмечались признаки остаточного воспалительного процесса, что выражалось незначительной смешанно-клеточной инфильтрацией (рис. 2).

После воздействия НИМП отмечались не только уменьшение лейкоцитарной инфильтрации синовиальной оболочки, но и, что особенно существенно, частичная нормализация слоя синовиоцитов. В синовиальной оболочке клетки располагались в несколько слоев, содержали крупные ядра круглой или овальной формы и часто напоминали фибробласты (рис. 2 А). В суставном хряще выявлялась структурная гетерогенность хондроцитов, наблюдались клетки, находящиеся на разных стадиях функциональной активности (рис. 2 Б). Хондроциты с округлыми ядрами располагались в матриксе неравномерно, преимущественно поодиночке, встречались изогенные группы, содержащие по несколько клеток в одной лакуне. На отдельных участках в хряще по-прежнему наблюдалась стертость границ между зонами, а также имелись неравномерно выраженные структурно-дистрофические изменения хондроцитов.

Гистохимическое исследование показало, что после курсового воздействия НИМП на фоне экспериментального артрита в клетках синовиальной оболочки и суставного хряща интенсивность аэробного окисления глюкозы в цикле Кребса увеличивалась по сравнению с контрольной группой животных на 16-е сутки эксперимента: активность СДГ в синовиоцитах составляла 80,7 у. е. (78,9; 82,6),  $p < 0,001$ . В хондроцитах уровень СДГ увеличился до 63,6 у. е. (62,3; 65),  $p < 0,001$  (в сравнении с нелечеными животными).

В результате воздействия НИМП отмечено снижение активности ЛДГ. В данной группе крыс этот показатель в синовиоцитах составлял 96,1 у. е. (94,6; 97,7), в хондроцитах – 108,2 у. е. (106,7; 109,7), что достоверно ниже, чем в группе животных, не подвергшихся воздействию физических факторов.

Курсовое сочетанное применение НИМП с инфракрасным светом в большей степени, чем монотерапия НИМП, приводило к снижению воспалительной активности, а также оказывало положительное влияние на структуру хряща. На



**Рисунок 2.** – Участок синовиальной оболочки (А) и суставного хряща (Б) крыс с экспериментальным артритом после воздействия НИМП. Микрофото. Метод: гематоксилин-эозин (А), ЛДГ (Б). Об.  $\times 10$  (А),  $\times 25$  (Б)  
**Figure 2.** – Plot of the synovial membrane (A) and articular cartilage (B) of rats with experimental arthritis after exposure to LPMF. Microphoto. Method: hematoxylin-eosin (A), LDH (B).  $\times 10$  (A),  $\times 25$  (B)

16-е сутки эксперимента после 10 процедур фотоманнитотерапии окружность сустава животных в этой группе уменьшилась с 3,23 см (3,19; 3,27) на 9,3% относительно 4-х суток эксперимента и составила 2,93 см (2,89; 2,97), тогда как в контрольной группе отек нарастал ( $p < 0,001$ ). По сравнению с животными, которые подверглись воздействию только НИМП, фотоманнитотерапия приводила к статистически значимому уменьшению окружности сустава ( $p < 0,001$ ).

Температура кожи области воспаленного сустава снизилась с 34,0°C (33,1; 34,9) до 26,91°C (26,0; 27,8) (на 26%). По сравнению с группой животных с артритом различия были статистически значимы при  $p < 0,001$  по сравнению с группой животных, подвергшихся воздействию НИМП – при  $p < 0,05$ .

Воздействие инфракрасным светом и НИМП аналогично монотерапии НИМП сопровождалось значительным улучшением показателей микроциркуляции в области сустава и восста-

новлением нормального кровотока. Полосовой коэффициент (Кв) снизился с 0,18 отн. ед. (0,17; 0,2) (4-е сутки) до 0,15 отн. ед. (0,14; 0,16) и практически приближался к параметру микроциркуляции, определенному у здоровых животных ( $p > 0,05$ ).

Установлено, что в результате применения фотоманнитотерапии произошло купирование воспалительной реакции, о чем свидетельствует уменьшение всех исследуемых лабораторных показателей в сравнении с контрольной группой животных ( $p < 0,001$ ) (табл. 2). По большинству показателей (СОЭ, ЦИК, СРБ, свободный оксипролин), противовоспалительный эффект фотоманнитотерапии был выше, чем монотерапии НИМП ( $p < 0,001$ ).

После сочетанного воздействия инфракрасным светом и НИМП морфологически отмечались не только уменьшение лейкоцитарной инфильтрации синовиальной оболочки, но и умеренная очаговая пролиферация синовиоцитов в виде формирования тубулярных структур, выстланных синовиоцитами. Клетки с крупными округлыми ядрами располагались в несколько слоев, имели овально-уплощенную форму, вытянутую цитоплазму и напоминали фибробласты (рис. 3 А).

В суставном хряще голенопредплюсневой сустава экспериментальных крыс после фотоманнитотерапии отмечалась незначительная стертость границ между зонами. Имелись участки, на которых суставной хрящ оставался сохранным, однако со слабо выраженной поверхностной зоной. Хрящевой матрике практически не подвергался разрушению, округлой и овальной формы хондроциты располагались группами (по 2-3 клетки в одной лакуне), как правило, были разобщены межклеточным веществом, что характерно для интактных животных (рис. 3 Б). Встречались делящиеся клетки, которые образовывали так называемые монетные столбики.

В синовиоцитах и хондроцитах суставного хряща после проведения фотоманнитотерапии (10 процедур) на фоне развития экспериментального артрита выявлена значительная активизация аэробного окисления глюкозы по сравнению с животными контрольной группы. Так, активность СДГ в синовиоцитах составляла 82,64 у. е. (81,0; 84,3), в хондроцитах – 69,5 у. е. (65,4; 73,5),  $p < 0,001$  по отношению к значениям у животных контрольной группы. Следует отметить, что усилению окислительного фосфорилирования в синовиоцитах в одинаковой мере способствовало как курсовое воздействие НИМП, так и НИМП в сочетании с инфракрасным облучением, а на уровень СДГ в хряще в большей степени влияние оказывало сочетанное применение НИМП и инфракрасного облучения ( $p = 0,03$ ).

При гистохимическом исследовании выявлено снижение активности ЛДГ. Так, активность ЛДГ в синовиоцитах составляла 93,2 у. е. (91,4; 95,0), в хондроцитах – 99,7 у. е. (97,9; 101,6),  $p < 0,001$  в сравнении с контролем на 16-е сутки.

**Заключение**

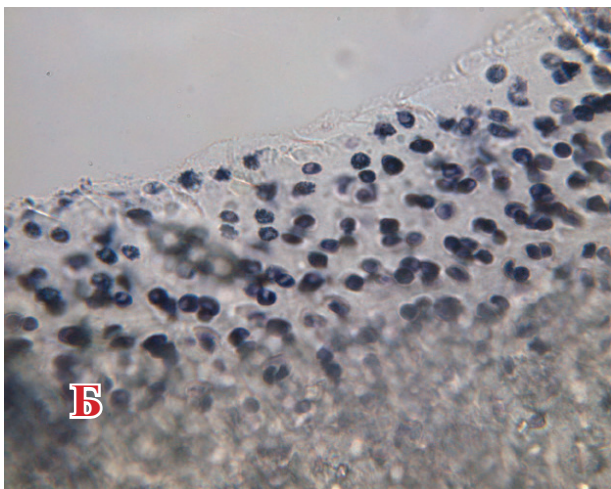
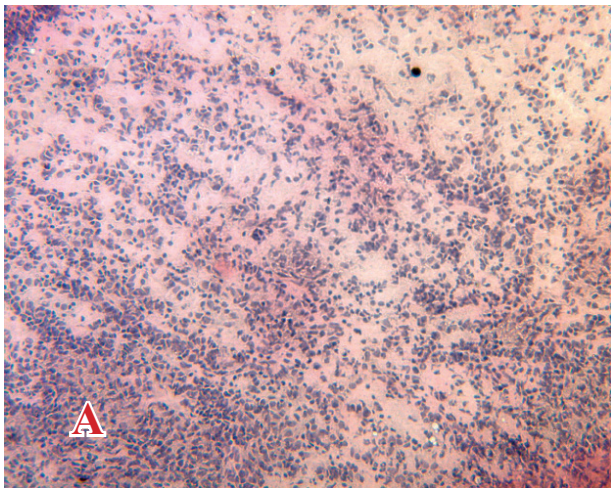
Таким образом, в результате проведенных исследований на модели экспериментального артрита установлено, что НИМП и сочетанное применение НИМП и инфракрасного облучения оказывают противовоспалительное и противовоспалительное действие, улучшают микроциркуляцию в области поврежденного сустава, снижают кожную температуру, улучшают лабораторные показатели (СОЭ, СРБ и др.), способствуют восстановлению функции сустава.

При этом курсовое применение фотоманнитотерапии приводит к статистически достоверно более выраженному уменьшению окружности сустава, снижению температуры кожи, улучшению показателей микроциркуляции воспаленного сустава, улучшению лабораторных показателей в сравнении с монотерапией НИМП.

Морфологическими методами исследования установлено, что наиболее выраженный положительный эффект также выявлялся после фотоманнитотерапии: в клетках синовиальной среды сустава практически отсутствовали признаки воспалительного процесса, выявленные в ходе экспериментального артрита. Структура гиалинового хряща не отличалась от таковой у интактных животных.

Влияние сочетанного воздействия инфракрасного света и магнитного поля, как и монотерапия НИМП, благоприятно сказывалось и на обменных процессах в клетках синовиальной среды сустава – синовиоцитах и хондроцитах, что подтверждалось гистохимическими исследованиями активности окислительно-восстановительных ферментов.

Полученные нами данные свидетельствуют о терапевтической эффективности сочетанного применения НИМП и инфракрасного света (фотоманнитотерапии) при экспериментальном артрите, что может быть использовано для разработки дифференцированных методик физиотерапии в ревматологии.



**Рисунок 3.** – Участок синовиальной оболочки (А) и суставного хряща (Б) крыс с экспериментальным артритом после сочетанного воздействия инфракрасного света и НИМП. Микрофото. Метод: гематоксилин-эозин (А), ЛДЖ (Б). Об.  $\times 10$  (А),  $\times 25$  (Б)

**Figure 3.** – Plot of the synovial membrane (A) and articular cartilage (B) of rats with experimental arthritis after combined exposure to infrared light and LPMF. Microphoto. Method: hematoxylin-eosin (A), LDH (B).  $\times 10$  (A),  $\times 25$  (B)

**Литература**

- Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение / В. С. Улащик [и др.]; под общ. ред. В. С. Улащика. – Минск : Беларус. навука, 2015. – 379 с.
- Пономаренко, Г. Н. Низкочастотная магнитотерапия / Г. Н. Пономаренко, В. С. Улащик. – Санкт-Петербург : Человек, 2017. – 171 с.
- Effectiveness of phototherapy incorporated into an exercise program for osteoarthritis of the knee: study protocol for a randomized controlled trial / С. de Faria Coelho [et al.] // *Trials*. – 2014. – Vol. 15. – Art. 221. – doi: 10.1186/1745-6215-15-221.
- Улащик, В. С. Сочетанная физиотерапия: общие сведения, взаимодействие физических факторов / В. С. Улащик // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. – 2016. – Т. 93, № 6. – С. 4-11. – doi: 10.17116/kurort201664-11.
- Улащик, В. С. Физиотерапия. Новейшие методы и технологии : справ. пособие / В. С. Улащик. – Минск : Кн. дом, 2013. – 446 с.
- Электромагнитотерапия: новые данные и технологии / В. С. Улащик [и др.]; под общ. ред. В. С. Улащика. – Минск : Беларус. навука, 2018. – 323 с.
- Kannan, K. Animal models of rheumatoid arthritis and their relevance to human / K. Kannan, R. A. Ortman, D. Kimpel // *Pathophysiology*. – 2005. – Vol. 12, № 3. – P. 167-181.
- Спекл-оптическое устройство для оценки состояния поверхностного кровотока и биомеханических параметров мышц : пат. ВУ 14011 / С. К. Дик, А. С. Терех, М. М. Король, И. И. Хлудеев, А. В. Смирнов, С. А. Лихачев. – Оpubл. 28.02.2011.
- Лойда, З. Гистохимия ферментов / З. Лойда, Р. Госспрау, Т. Шиблер. – Москва : Мир, 1982. – 280 с.

## References

1. Ulashchyk VS, Pletnev AS, Vojchenko NV, Pletnev SV; Ulashchyk VS, editor. Magnitoterapija: teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie. Minsk: Belarusskaja navuka; 2015. 379 p. (Russian).
2. Ponomarenko GN, Ulashchyk VS. Nizkochastotnaja magnitoterapija. Sankt-Peterburg: Chelovek; 2017. 171 p. (Russian).
3. Coelho Cde F, Leal-Junior EC, Biasotto-Gonzalez DA, Bley AS, de Carvalho Pde T, Politti F, Gonzalez Tde O, de Oliveira AR, Frigero M, Garcia MB, Dibai-Filho AV, Gomes CA. Effectiveness of phototherapy incorporated into an exercise program for osteoarthritis of the knee: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2014;15:221. doi: 10.1186/1745-6215-15-221.
4. Ulashchyk VS. Sochetannaja fizioterapija: obshhie svedeniya, vzaimodejstvie fizicheskikh faktorov [Combined physical therapy: general information, interaction between physical factors]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizkultury* [Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy]. 2016;93(6):4-11. doi: 10.17116/kurort201664-11. (Russian).
5. Ulashchyk VS. Fizioterapiya. Noveyshie metody i tekhnologii. Minsk: Knizhnyy dom; 2013. 446 p. (Russian).
6. Ulashchyk VS, Rudaja AJu, Zhavoronok IP, Melik-Kasumov TB, Schastnaja NI, Vojchenko NV, Morozova IL, Nikiforenkov LA, Kisten OV; Ulashchyk VS, editor. Jelektromagnitoterapija: novye dannye i tekhnologii. Minsk: Belarusskaja navuka; 2018. 323 p. (Russian).
7. Kannan K, Ortman RA, Kimpel D. Animal models of rheumatoid arthritis and their relevance to human. *Pathophysiology*. 2005;12(3):167-181.
8. Dik SK, Tereh AS, Korol MM, Hludcev II, Smirnov AV, Lihachev SA, inventors; Respublikanskij nauchno-prakticheskij centr nevrologii i neirohirurgii, assignee. Spekl-opticheskoe ustrojstvo dlja ocenki sostojanija poverhnostnogo krovotoka i biomehanicheskikh parametrov myshe. BY patent 14011. 2011 Feb 28. (Russian).
9. Lojda Z, Gossrau R, SHibler T. Gistohimiya fermentov. Moskva: Mir; 1982. 280 p. (Russian).

## EFFICIENCY OF PHOTOMAGNETIC THERAPY IN EXPERIMENTAL ARTHRITIS

<sup>1</sup>Voichenko N. V., <sup>1</sup>Volotovskaya A. V., <sup>2</sup>Ruzkovskaya E. L., <sup>2</sup>Kuznetsova T. E.,

<sup>2</sup>Ulashchyk V. S.

<sup>1</sup>Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

*Background.* The choice of physiotherapeutic method in the treatment of joint diseases remains an urgent problem in physiotherapy.

*The aim:* a comparative study of the efficiency of a low-frequency pulsed magnetic field (LPMF) and its combination with infrared light (photomagnetic therapy) in experimental arthritis.

*Material and methods.* Studies were performed on 50 male rats. A zymosan model of arthritis was used. The animals were divided into 4 groups, the 1st group – intact animals, the 2nd – animals with arthritis without treatment, in the 3rd group they underwent course exposure to LPMF, in the 4th group LPMF in combination with infrared light. Clinical, laboratory, morphological and histochemical studies were performed.

*Results.* It was revealed that photomagnetic therapy to a greater extent than a LPMF reduces the activity of the inflammatory process, and also leads to a partial normalization of the structure of cartilage tissue.

*Conclusions.* The data obtained can be used to develop differentiated methods of physiotherapy in rheumatology.

**Keywords:** magnetic therapy, infrared light, combined physiotherapy, animal studies.

**For citation:** Voichenko NV, Volotovskaya AV, Ruzkovskaya E, Kuznetsova TE, Ulashchyk VS. Efficiency of photomagnetic therapy in experimental arthritis. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2020;18(2):166-172. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-2-166-172>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки

**Financing.** The study was performed without external funding.

**Соответствие принципам этики.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом.

**Conformity with the principles of ethics.** The study was approved by the local ethics committee.

**Об авторах / About Authors**

\*Войченко Наталья Валерьевна / Voichenko Natalia, e-mail: natalia-voichenko@yandex.by, ORCID: 0000-0001-8879-8448

Волотовская Анна Викторовна / Volotovskaya Anna, e-mail: aleksei\_volotovs@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9228-8210

Рыжковская Елена Леонидовна / Ruzkovskaya Elena, e-mail: yelena.ryzh@mail.ru

Кузнецова Татьяна Евгеньевна / Kuznetsova Tatiana

Улащик Владимир Сергеевич / Ulashchyk Vladimir, ORCID: 0000-0002-0593-8861

\* автор, ответственный за переписку (corresponding author)

Поступила / Received: 11.02.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 20.03.2020