

© Коллектив авторов, 2016
УДК 616-001.17- 085. 831

Заживление термических ожогов кожи в условиях экспериментальной фототерапии

Расулов М.М.¹, Моторина И.Г.², Юшков Г.Г.³, Щукина О.Г.³, Малышкина Н.А.³

¹ Государственный научный центр Российской Федерации «Государственный НИИ химии и технологии элементоорганических соединений» Государственной корпорации «Ростехнологии», 105118 г. Москва, Шоссе Энтузиастов, 38

² ГБУДПО Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ (ГБУДПО ИГМАПО); 664079, г. Иркутск, микрорайон «Юбилейный», дом 100

³ ФГБУ ВО Ангарский государственный технический университет Министерства образования и науки РФ (ФГБУ АнГТУ), 665835, г. Ангарск Иркутской области, ул. Чайковского, дом 60

Исследования, посвященные изучению эффективности светолечения ран кожи и патогенетическому обоснованию этого метода недостаточны. Целью данной работы было оценить заживляющее действие полихроматического поляризованного некогерентного света (аппарат «БИОПТРОН-компакт») и лазерного красного волнового диапазона (аппарат АЗОР 2К-02) на стандартную термическую рану кожи. Методы. У кроликов на боковой поверхности тела вызывали кожный ожог 3–4 степени, размером 24 см² и проводили курсовое лечение ожоговой раны ежедневно в течение 10 дней, начиная со стадии пролиферации — с 5 дня от момента нанесения раны. В качестве оценочных критериев использованы типовые гематологические, биохимические, морфологические и планиметрические показатели. Результаты. Существенных различий в величинах гематологических показателей не обнаружено. В то же время отличия облученных животных от необлученных практически по всем другим показателям оказались статистически достоверными. Морфологические и планиметрические исследования показали существенное ускорение процесса регенерации при обоих типах светового облучения, но ранозаживляющий эффект света лазера красного волнового диапазона оказался более выраженным, чем при лечении поляризованным светом. Заключение. Несмотря на принципиальные отличия указанных типов облучения по физическим параметрам в обоих случаях положительный эффект был связан с активацией пролиферации макрофагального и фибробластического ряда, что ускоряло заживление ожоговой раны и предупреждало переход острого воспаления в хроническое.

Ключевые слова: ожоговые раны, кожа, физиотерапия, светотерапия, кролики.

Для цитирования: Расулов М.М., Моторина И.Г., Юшков Г.Г., Щукина О.Г., Малышкина Н.А. Заживление термических ожогов кожи в условиях экспериментальной фототерапии. Патогенез. 2017; 15(1): 40–47.

Для корреспонденции: Расулов Максуд Мухамеджанович, докт. мед. наук, профессор, Государственный научный центр Российской Федерации «Государственный НИИ химии и технологии элементоорганических соединений» Государственной корпорации «Ростехнологии», 105118 Москва. e-mail: maksud@bk.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 06.08.2016

The healing of thermal burns on the skin in experimental phototherapy

Rasulov M.M.¹, Motorina I.G.², Yushkov G.G.³, Schukina O.G.³, Malysheva N.A.³

¹ State Scientific Center of the Russian Federation, Federal State Unitary Enterprise «State Research Institute for Chemistry and Technology of Organoelement Compounds», 105118 Moscow, Enthusiasts highway, 38

² Irkutsk State Medical Academy of Continuing Education; 664079, Irkutsk, area «Jubilee», house 100. [http:// www.igmapo.ru](http://www.igmapo.ru)

³ Angarsk State Technical University; 665835, Irkutsk region, Angarsk, ul. Chaykovskogo, 60. www.angtu.ru

The studies dedicated to the efficacy of skin wound phototherapy and pathogenetic substantiation of this method are insufficient. The aim of this work was to assess the healing effect of the polychromatic polarized incoherent light (the «BIOPTRON compact» device) and laser red wave range (AZOR-02) to the standard thermal skin wound. Methods. The 3rd and 4th-degree skin burn wounds with the size of 24cm² were caused on the lateral body surface in rabbits and then treated with phototherapy. The course of treatment was performed by a daily irradiation during 10 days, starting from the stage of proliferation, i.e. on the 5th day after wounding. As evaluation criteria, the hematological, biochemical, morphological, and planimetric indicators were used. Results. No significant differences in the values of hematological parameters were found. At the same time, the differences between irradiated and non-irradiated animals by almost all other indicators were statistically significant. The morphological and planimetric study showed significant acceleration of the regeneration process in both types of light exposure, but the wound healing effect of the laser light of red wavelength range was more pronounced than in the treatment by polarized light. Conclusion. Received data allowed to conclude that, in cause of thermal treatment of skin wounds, optical polarized light and especially laser irradiation of red spectrum have a positive effect on activating of proliferation of macrophagal and fibroblastic cell

branches, thus accelerating burn wound healing and preventing the transition of inflammation from acute to chronic form.

Keywords: burn wound of the skin, the light therapy, rabbits.

For citation: Rasulov M.M., Motorina I.G., Yushkov G.G., Schukina O.G., Malyshkina N.A. The healing of thermal burns on the skin in experimental phototherapy. *Patogenez*. 2017; 15(1): 40–47 (In Russian).

For correspondence: Rasulov M.M. M.D., professor, State Scientific Center of the Russian Federation, Federal State Unitary Enterprise «State Research Institute for Chemistry and Technology of Organoelement Compounds», Moscow, Russia, e-mail: maksud@bk.ru

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

Funding. The study had no sponsorship.

Received 06.08.2016

Введение

Лечение ран остается одной из актуальнейших проблем практической медицины, включающее в целом хирургические, консервативные и физиотерапевтические методы [1]. Последние привлекают все большее внимание отчетливой эффективностью применения, что стимулирует исследования по оценке получаемого эффекта и обоснованию механизмов ускорения заживления [2, 3]. Руководства по ожогам указывают на развитие гемоконцентрации с эритроцитозом и лейкоцитозом, повышение содержания в крови гемоглобина при обширных (более 15% поверхности тела) и глубоких ожогах. Анемия может возникать по завершении стадии токсемии, тогда, когда целесообразны дополнительные, консервативные приемы лечения, что дает возможность использовать гематологические показатели для оценки эффективности различных способов светолечения. Важным остается также анализ как биохимических изменений в крови — объективные свидетельства заживления, так и структурных изменений в месте раневого повреждения.

Биофизические воздействия могут существенно влиять на динамику регенерации [3, 4], что важно учитывать при формировании программ рациональной физиотерапии. Наряду с этим отметим, что в условиях экспериментально-биологического исследования использование клинико-лабораторных приемов диагностики динамики заживления локальной ожоговой раны, не подпадающей под категорию «ожоговая болезнь» изучены недостаточно. Поэтому целью настоящего исследования явилась оценка ранозаживляющего действия светового облучения на заживление ожоговой раны в эксперименте.

Материалы и методы

Исследование выполнено на 42 кроликах серой масти, массой 3600 ± 150 г, выращенных в специализированном виварии НИИ биофизики АГТА (ветудостоверение 238 № 0018942), находившихся в стандартных условиях содержания при свободном доступе к воде и корму. Рану наносили под тиопенталовым наркозом (2–4 мл 0,1% раствора, в/в) прибором «Аппарат для ожога тепловым излучением»,

температура обжигающей поверхности на выбритую кожу боковой поверхности тела 800°C , время контакта 3 с, размер раны 24 см^2 (III–IV ст.). Все работы проводились в соответствии с существующими этическими требованиями при работе с экспериментальными животными [5]. Все животные были разделены на 3 группы по 14 особей:

- группа 1 — контроль — кролики с ожогом и не облученные;
- группа 2 — кролики с ожогом и облученные поляризованным светом с помощью серийного аппарата «Биоптрон компакт» — 10 сеансов;
- группа 3 — кролики с ожогом и облученные лучом красного диапазона с помощью серийного аппарата «Азор-2К-02» — 10 сеансов (табл. 1).

Кролики подвергались светолечению ежедневно, на протяжении 10 дней, начиная с 5-го дня после нанесения ожогового поражения, когда наступает пролиферативная стадия процесса заживления (согласно существующей классификации). При этом продолжительность сеансов облучения животных варьировала. Так, при использовании аппарата «Биоптрон компакт» первый сеанс длился 5 мин, второй, на следующий день — 6 мин, затем, на третий день — 7 мин, на четвертый — 8 мин, на пятый — 9 мин, а с 6 по 10 сеансы продолжались по 10 мин. При использовании аппарата «Азор-2К-02» длительность всех 10 сеансов составляла 2 мин. Характеристики излучений иллюстрирует табл. 1.

Образцы крови брали из краевой вены уха до и после всех воздействий. Полученную сыворотку исследовали на содержание: глюкозы — глюкозооксидазным методом с использованием реактивов Diocap, мочевины — кинетическим уреазным методом, общего белка — биуретовым методом, холестерина — ферментным методом, креатинина — по Попперу, аланинаминотрансферазы (АлТ) — колориметрически.

Образцы тканей для морфологического исследования брали из пограничной области. Материал фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина, проводили через спирты, заключали в парафин или воск, готовили срезы толщиной 5–7 мкм, окрашивали их гематоксилин-эозином и по Ван Гизону. По качественным характе-

Таблица 1

Методические приемы физиотерапии ожоговых ран в условиях эксперимента

Тип аппарата	Оптический диапазон	Длина волны (нм)	Режим	Мощность излучения	Расстояние от торца излучателя до раны
Биоптрон компакт	Поляризованный свет	480-3400	Непрерывный	20 Вт	5 см
Азор-2К-02	Красный	630	Непрерывный	30 мВт	1 см

ристикам оценивали воспалительный процесс: степень деструкции клеток в очаге воспаления, отек, ростовую активность эпидермиса, направление коллагеновых волокон, наличие плазматических клеток, фибробластов. Эти процессы документировали микроснимками. С целью определения площади и скорости уменьшения плоскостных ран, измеряли площадь раны. Регистрация показателей проводилась на пятые и пятнадцатые сутки от момента нанесения раны.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программ Microsoft Office Excel 2007 и «Biostat».

Результаты и обсуждение

К 5-му дню после нанесения раны (начало стадии пролиферации) выявили следующие изменения биохимических показателей (табл. 2): содержание глюкозы в среднем уменьшалось на 19%, а уровень холестерина, мочевины, креатинина и общего белка увеличивалось на 20%, 17% ($p < 0,05$), 11% ($p < 0,05$) и 15% соответственно.

Содержание АлТ в сыворотке крови, через пять дней возросло на 50% относительно исходного уровня и продолжало повышаться в течение всего периода лечения у животных группы контроля и у получавших лечение поляризованным светом. В то же время у кроликов, подвергавшихся красному облучению уровень АлТ после 5-го дня исследования начал понижаться, но, тем не менее, оставался повышенным на 33% относительно нормы к концу эксперимента (табл. 2). Однако это повышение содержания АлТ в сыворотке крови, безусловно, не связано с повреждением клеток кожи, а индуцировано за счет повышения уровня аланина в крови — постоянного спутника ожоговой травмы. Одним из подтверждающих признаков этого служит и повышение содержания глюкозы как у контрольных, необлученных, животных, так и в группах со светолечением. Однако в группе животных, леченых красным излучением, глюкоза оказалась повышенной на 8%, в то время как в остальных группах уровень глюкозы был на 30% выше исходных значений (табл. 2).

Таблица 2

Биохимические показатели сыворотки крови кроликов в процессе заживления ожога кожи при светолечении (M ± m)

Прием светолечения	До нанесения ожоговой раны	Начало лечения (через 5 дней после нанесения раны)	Конец лечения (через 15 дней после нанесения раны)
Глюкоза (ммоль/л)			
Контроль (нелеченные)	6,2 ± 0,04	5,0 ± 0,14	8,9 ± 0,38 *
Биоптрон	6,1 ± 0,08	5,2 ± 0,07	8,8 ± 0,3 *
Азор-2К-02	6,2 ± 0,08	4,9 ± 0,1	6,7 ± 0,1 *
Общий холестерин (ммоль/л)			
Контроль (нелеченные)	1,5 ± 0,04	1,8 ± 0,1 *	1,4 ± 0,08 *
Биоптрон	1,5 ± 0,03	1,8 ± 0,6	0,9 ± 0,1 *
Азор-2К-02	1,5 ± 0,05	1,8 ± 0,05	0,8 ± 0,07 *
Мочевина (ммоль/л)			
Контроль (нелеченные)	6,2 ± 0,06	7,5 ± 0,2 *	8,1 ± 0,2 *
Биоптрон	6,2 ± 0,03	7,4 ± 0,1 *	7,1 ± 0,09 ***
Азор-2К-02	6,2 ± 0,06	7,5 ± 0,06 *	7,0 ± 0,03 *
Креатинин (мкмоль/л)			
Контроль (нелеченные)	106,6 ± 0,5	118,6 ± 1,8 *	112,8 ± 1,98 *
Биоптрон	106,5 ± 0,7	119,6 ± 0,65 *	99,5 ± 1,6 *
Азор-2К-02	106,0 ± 0,38	119,8 ± 0,4 *	103,8 ± 3,5
Аланинаминотрансфераза (ед./л)			
Контроль (нелеченные)	29,5 ± 0,3	57,5 ± 1,1 *	63,1 ± 2,7 *
Биоптрон	29,5 ± 0,3	56,6 ± 1,9 *	95,4 ± 5,6 ***
Азор-2К-02	28,8 ± 0,5	60,4 ± 2,8 *	42,8 ± 4,6 *
Общий белок (г/л)			
Контроль (нелеченные)	66,1 ± 0,7	76,5 ± 0,9	70,1 ± 0,8
Биоптрон	68,3 ± 0,8	77,1 ± 1,1	70,9 ± 0,9
Азор-2К-02	66,2 ± 0,4	79,0 ± 0,8 *	71,2 ± 1,1 *

Примечание. * $p < 0,05$ и ** $p < 0,05$ — по сравнению с исходными показателями и контролем соответственно.

Из теории термического ожога следует, что с момента травмы в организме возникает ряд метаболических процессов, направленных на поддержание баланса между уровнем гликемии и повышенным энергопотреблением, источником которого являются глюкоза и жирные кислоты при обширном ожоге. Учитывая полученные данные эксперимента с локальной травмой, можно предполагать, что и в данном случае запускается тот же механизм, хотя и выраженный в меньшей степени, о чем свидетельствует динамика глюкозы и холестерина в сыворотке крови животных. Облучение существенно на этот механизм не повлияло, за исключением динамики общего холестерина, уровень которого по окончании обоих типов светолечения снизился, примерно, на 43% относительно исходных данных, что статистически достоверно. Уровень общего белка в сыворотке крови к концу наблюдений снижался относительно 5-го дня от нанесения раны, причём лечение поляризованным светом привело к фактической его нормализации, в отличие от действия красного облучения, при котором уровень общего белка к концу наблюдений превышал норму на 7% (табл. 2). Относительная гиперпротеинемия, по-видимому, связана с некоторой дегидратацией у животных, о чем свидетельствовало повышение содержания мочевины в сыворотке крови, равно как и в результате активированного синтеза мочевины, уровень которой оставался достоверно повышенным и по окончании светолечения. Увеличение содержания в сыворотке крови креатинина, связано с угнетением клубочковой фильтрации из-за разрушения мышечных белков в течение первых пяти дней после термической травмы. В процессе светолечения уровень креатинина восстановился до контрольного уровня. Таким образом, биохимические показатели сыворотки крови животных при локальном термическом ожоге отражают ответ организма на этот вид травмы.

Изменения гематологических показателей у животных с термической раной не подвергавшихся физиотерапевтическому воздействию патогенетически обусловлены стадией развития ожогового процесса. Особенности этих изменений, как правило, не обсуждаются и соотносятся с неспецифической адаптацией, в том числе стрессорными, и другими системными реакциями на обширный и глубокий ожог кожи. Кроме этого указывается и на изменения базовых функций полиморфно-ядерных лейкоцитов, преимущественно в ранний период развития острого воспаления, вызванного ожогом кожи в условиях эксперимента [6].

Из табл. 3, в которой представлены результаты гематологического анализа, следует, что на пятый день эксперимента закономерно возросло содержание лейкоцитов и лимфоцитов в крови животных (в среднем на 36—37%) как следствие ожоговой раны во всех группах. Количество эритроцитов в крови резко уменьшилось (~ 50%), с последующим неполным восстановлением к концу наблюдений и в контроле и в группах с лечением. Уменьшение уровня гемоглобина и количества тромбоцитов было незначительным. По окончании светолечения гемоглобин приближался к нормальным значениям, а количество тромбоцитов превышало нормальные значения на 27% в контроле и 18% на фоне лечения поляризованным светом, в то время как красное облучение восстанавливало уровень тромбоцитов до нормальных показателей.

Также светолечение в обоих случаях возвращало к нормальным показателям количество лейкоцитов и лимфоцитов, тогда как у нелеченых животных показатели оставались повышенными на 32% и 18% соответственно. Наряду с этим уменьшение количества лейкоцитов до нормального уровня, согласно данным литературы [7], свойственно также для физиотерапии с помощью лазеров с инфракрасным излучением. Проведенный на-

Таблица 3

Гематологические показатели у кроликов при светолечении ожогов кожи

Показатели	Группы животных		
	Контроль (нелеченные)	Биоптрон	Азор-2К-02
Лейкоциты ($10^9/л$)			
Исходное количество	5,9 ± 0,1	6,2 ± 0,2	6,1 ± 0,2
Через 5 дней после нанесения раны	9,6 ± 0,1	9,5 ± 0,4	9,3 ± 0,3*
Через 10 дней лечения	8,6 ± 0,2	6,3 ± 0,3*	6,8 ± 0,2**
Лимфоциты ($10^9/л$)			
Исходное количество	2,8 ± 0,5	2,9 ± 0,4	3,0 ± 0,5
Через 5 дней после нанесения раны	4,7 ± 0,5	4,4 ± 0,5	4,5 ± 0,4*
Через 10 дней лечения	3,4 ± 0,4	2,8 ± 0,3	3,1 ± 0,4
Эритроциты ($10^{12}/л$)			
Исходное количество	4,8 ± 0,1	4,8 ± 0,2	4,7 ± 0,3
Через 5 дней после нанесения раны	2,3 ± 0,3	2,5 ± 0,3	2,4 ± 0,3*
Через 10 дней лечения	3,5 ± 0,2	3,3 ± 0,4	3,4 ± 0,2*
Гемоглобин (г/л)			
Исходное количество	121,1 ± 3,0	121,8 ± 3,0	121,1 ± 3,3
Через 5 дней после нанесения раны	111,0 ± 4,4	112,6 ± 5,0	111,3 ± 3,1*
Через 10 дней лечения	116,2 ± 3,6	114,8 ± 4,4	116,2 ± 3,6
Тромбоциты ($10^9/л$)			
Исходное количество	325,0 ± 4,9	336,2 ± 4,8	326,5 ± 1,9
Через 5 дней после нанесения раны	315,2 ± 2,4	319,7 ± 4,1	318,3 ± 4,0
Через 10 дней лечения	443,3 ± 12,2*	409,3 ± 10,2*	347,7 ± 25,6

Примечание. * $p < 0,05$ — отличия от контроля и исходных данных достоверны

ми эксперимент согласуется с этими представлениями. Тем не менее, следует учесть, что спектр излучения в проведенных экспериментах начинался выше диапазона ультрафиолетового света и содержал видимую, а также небольшую долю (нижний диапазон) инфракрасных лучей. В отличие от лазерного луча, имеющего узкий спектр (когерентный, монохроматический свет, излучаемый аппаратом Азор-2К-02), световой луч в проведенных нами экспериментах полихроматический, содержащий волны разной длины. Можно полагать, что именно этот фактор, в сочетании с поляризацией, оказывал благотворное действие на клетки кожи, стимулируя заживление раны.

В результате морфологических исследований установлено, что после моделирования раны у кроликов с двумя видами светолечения и в группе без облучения, в эпидермисе и дерме на пятые сутки регистрировались деструк-

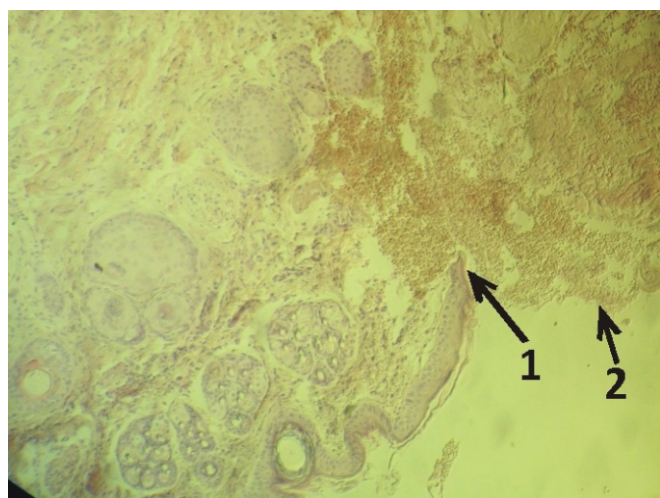


Рис. 1. Препарат ожога кожи кролика. Контроль без лечения, 10 суток. Неактивная пролиферация в сторону раневой поверхности (1); некротические массы, очаги воспалительной инфильтрации (2). Окраска гематоксилин-эозином, ув. $\times 120$.

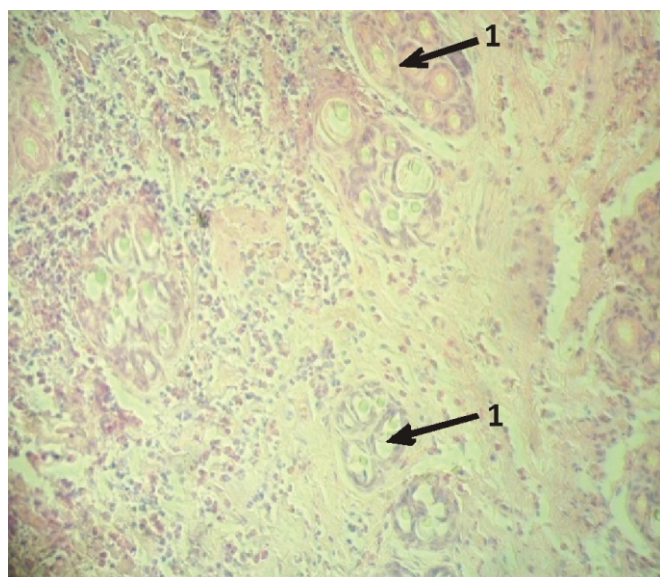


Рис. 2. Препарат ожога кожи кролика. Контроль без лечения, 10 суток. Проллиферация эпителия волосяных фолликулов на фоне отека соединительно-тканых пучков дермы (1). Окраска гематоксилин-эозином, ув. $\times 120$.

тивные процессы с воспалительным отеком. Поверхность раны была покрыта гнойно-некротическими массами. Базальная поверхность эпидермиса выглядела сглаженной, набухание проявлялось и в клетках волосяных фолликулов и сальных железах, коллагеновые волокна с явлениями отека и разрушения. В дерме — полнокровие капилляров с краевым стоянием лейкоцитов с преобладанием нейтрофилов (до 80%), которые мигрировали в ткань, образуя очаговые скопления и микроабсцессы. На периферии зоны воспаления зачатки формирования грануляционной ткани. Воспалительный отек и лейкоцитарная инфильтрация распространялись в дерму на большую глубину.

При спонтанном заживлении (без лечения) на 10-е сутки образовался выраженный бесструктурный струп, ограниченный от дермы пластом гистиолейкоцитарных клеток и некротическими массами с краевым вялотекущим ростом эпидермиса. В дерме сохранялись очаги скопления нейтрофилов с появлением плазматических клеток. По периферии зоны воспаления видны редкие очаги грануляционной ткани с небольшим количеством микроабсцессов. Сосочки и гребешки сглажены, коллагеновые волокна отека, расположены хаотично. Волосяные фолликулы и сальные железы в состоянии выраженных дегенеративных изменений (рис. 1, 2). Таким образом, спонтанное заживление развивалось относительно медленно.

В группе кроликов, леченых с помощью поляризованного облучения, на десятые сутки наблюдения отмечен малодифференцированный струп, ограниченный от дермы гистиолейкоцитарным инфильтратом, состоящим на 70% из нейтрофилов, 30% из лимфоцитов и макрофагов. По краям раны умеренная пролиферация эпидермиса. Воспалительный отек в дерме уменьшился, хотя видны концентрические вакуоли средних размеров (с гиалиноподобным содержимым). В сосочковой зоне дермы коллагеновые волокна были расположены беспорядочно и рыхло. Вблизи раны волосяные фолликулы и сальные железы восстановили характерную структуру (рис. 3). Это значит, что особенности раневого процесса в условиях светолечения заключались в ограничении развития воспалительного отека, уменьшении миграции в очаг лейкоцитов и увеличении количества макрофагов.

Раневая поверхность кожи кроликов, облучавшихся лазерным красным светом (аппарат «Азор»), через 10 дней лечения представлена умеренно выраженной полоской струпа, под которой видна эпидермальная пластинка с регенераторной реакцией, направленной к центру раны (рис. 4). Эпидермис пролиферировал слабее, чем у животных, облученных поляризованным светом, но образовывал небольшие гребешки. Лейкоцитарный вал был выражен очень слабо, представлен нейтрофилами до 20%, грануляционная ткань в дне раны с умеренной пролиферацией капилляров. Отечность эпидермиса и дермы незначительная: концентрические вакуоли в эпидермисе не встречались, а в дерме — в единичном количестве мелкого размера, окруженные лейкоцитами, фибробластами. Коллагеновые волокна дермы расположены местами однонаправленно, местами рыхло. Плазматические клетки располагались диффузно и не образовывали очагов скопления. Это значит, что морфологическая картина соответствовала фибробластической фазе воспаления.

Из данных морфологического исследования следует, что энергии света, направленного из любого источника, оказалось недостаточной для полного купирования процессов деструкции тканевых структур, что проявилось в сохранении выраженного гистиолейкоцитарного инфильтрата, наличии вакуолей и плазматических клеток.

Характерными морфологическими признаками перехода острого раневого воспаления в хроническое являются миграция в рану мононуклеарных клеток с параллельным уменьшением гранулоцитарных [6], наличие в ране мозаично рассеянных микроабсцессов, микрофлегмон и очагов некроза, появление плазматических клеток Унны, которые не встречаются при нормальном течении заживления [8]. Очевидно, что воздействие поляризованного облучения в эксперименте тормозило переход острого воспаления в хроническое. Наряду с этим отметим, что облучение мы начинали на стадии пролиферации, т.е.

в более отдалённой фазе от момента ожога. При этом установлено, что одновременно с созреванием в грануляционной ткани происходит эпителизация многослойным плоским эпителием.

В табл. 4 представлены результаты планиметрического изучения динамики заживления ран при фототерапии.

По каждой серии экспериментов приведены два показателя: площадь раневой поверхности (S , см^2) и процент сокращения площади раны (Y_t , %) на определённый срок лечения (5 и 15 сутки). Видно, что спонтанное заживление раны проходило медленно, динамика сокращения площади составила около 1,84% по окончании эксперимента. Использование метода светолечения ускорило процесс регенерации. При лечении поляризованным светом регенерация составила 3,27%, что почти вдвое больше, чем среди контрольных животных. С другой стороны, облучение раны лазером красного диапазона, увеличивал

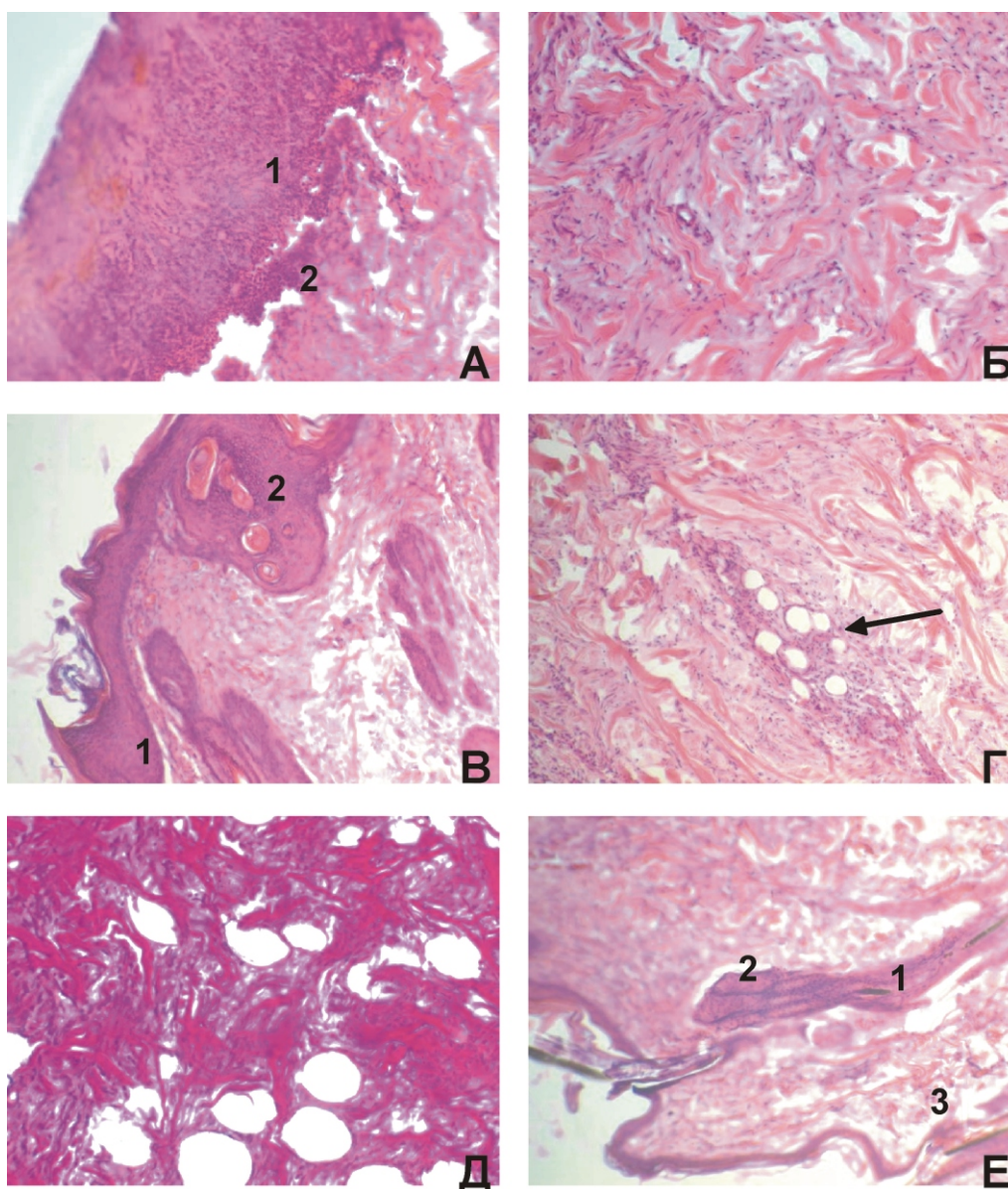


Рис. 3. Срез кожи кролика после термического ожога и облучения поляризованным светом (аппарат «Биоптрон»). А — центр раны: выраженная полоска струпа (1) и гисто-лейкоцитарный инфильтрат (2). Б — сосочковая зона дермы: пучки коллагеновых волокон расположены беспорядочно, рыхло. В — эпидермис на границе с раной: активная пролиферация эпидермиса (1), наличие округлых вакуолей с гиалиноподобным содержанием (2). Г и Д — дерма: концентрические вакуоли. Е — участок кожи вблизи раны: волосяные фолликулы (1) и сальные железы (2) в пределах нормы, дерма с явлениями отёчности (3). А, Б, В, Г и Е — окраска гематоксилин — эозином; Д — пикрофуксином. ув. $\times 120$.

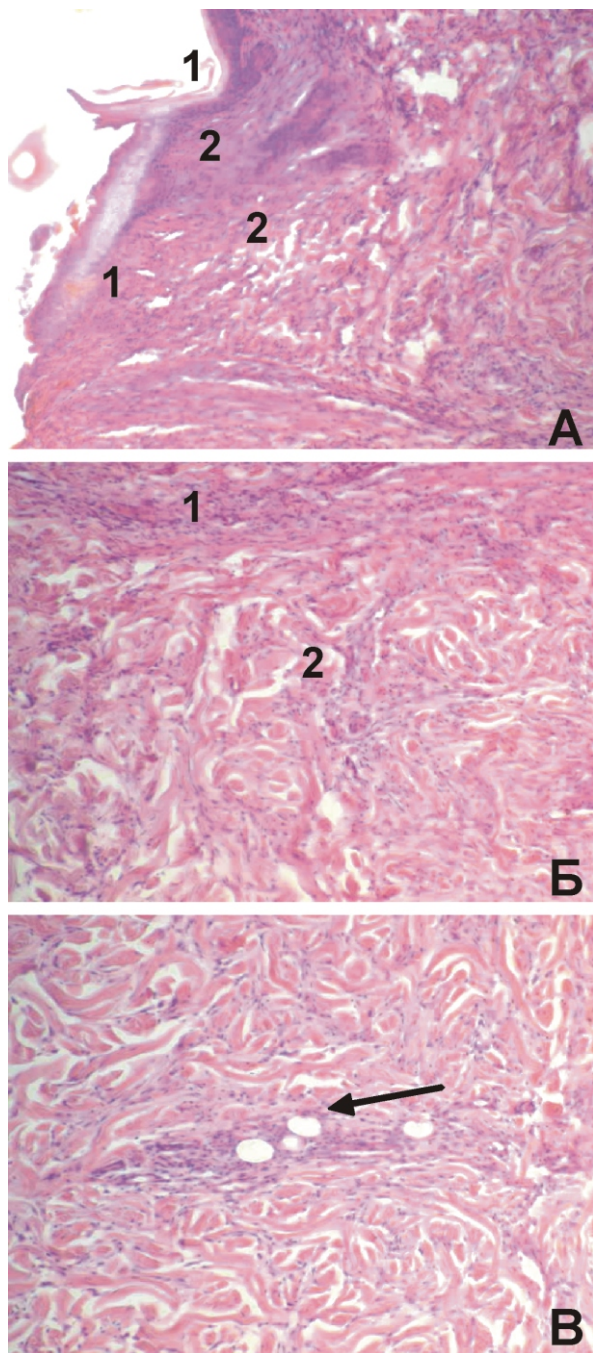


Рис. 4. Раневая поверхность кожи кролика после термического ожога и светолечения аппаратом «Азор-2к-02». А — край раны: полоска струпа (1), эпидермис, закрывающий раневую поверхность под струпом (2). Б — дерма: коллагеновые волокна, расположенные компактно (1) и рыхло (2). В — дерма: единичные концентрические пустоты. Окраска гематоксилин-эозином. ув. $\times 120$.

площадь заживления до 8,75%, т.е. был более чем вдвое эффективней поляризованного света.

Представленные результаты дают основание полагать, что в ускорении процесса заживления раны главную роль играют фотохимические реакции, возникшие под воздействием на рану как когерентного, так и поляризованного света (биофотоэффект). При этом допустимо, что некоторые фотохимические реакции, например — генерация синглетного кислорода, или/и триплет-синглетные переходы могут играть роль триггерного или «пейсмекерного» (в терминах П.К.Анохина) механизма, запускающего выявленные нами метаболические изменения в клетках и последствия этих изменений в тканях. Эти изменения на молекулярном и клеточном уровне, во многом обуславливают глубокие вторичные и третичные эффекты, возникающие и на уровне тканей, органов, и целого организма. В случае повреждения клетки, как лазерное излучение, так и поляризованный свет способствуют восстановлению всей цепочки ее функционирования — от цитоплазматической мембраны, через «эстафету мессенджеров» активирует метаболические (обменные) процессы и продукцию ферментов в цитозоле клетками. Поляризованные световые лучи, равно как и когерентные лучи, проникая вглубь кожи, способствуют нормализации капиллярного кровообращения, улучшению питания тканей, их снабжению кислородом и уменьшению отеков. Это общее представление о механизмах заживления экспериментального ожога, которое, на наш взгляд, требует объяснения некоторых деталей, их следующую интерпретацию.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что, несмотря на очень большие различия в физических параметрах потока лучей, воздействующих на раневую поверхность в проведенных экспериментах, мы отмечаем практически однотипные ответные реакции — ускорение заживления ожоговых ран, уменьшение рубцевания, а также гематологические и биохимические изменения. Это не противоречит общепринятым представлениям о развитии реакции «стресс». Биофизический смысл выявленных феноменов может состоять в том, что поляризованное излучение с широким диапазоном длин волн, а также лазерные лучи красного диапазона, которые мы использовали в проведенных опытах, вне сомнений, воздействовали на мембраны разных клеток. Взяв в качестве главного объекта, например, мембраны фибробластов, мы можем полагать, что в условиях биофотоэффекта изменялось, например, время основных конформационных переходов (цис-транс-гош) или/и ряда их промежуточных форм в мембране. Это могло бы увеличить или уменьшить как пористость, так и порозность (т.е. количество пор либо их диаметр) мембран, а также длину, форму, и электромагнитные характеристики,

Таблица 4

Влияние разных типов светолечения на площадь ожоговых ран

Срок наблюдения	Контроль		Поляризованный свет (Биоптрон)		Красный свет (Азор-2К-02)	
	S, см ²	Y _t %	S, см ²	Y _t %	S, см ²	Y _t %
До лечения	21,4 ± 0,05	0	21,3 ± 0,04	0	21,6 ± 0,04	0
5 сутки	21,7 ± 0,06	0	21,4 ± 0,04	0	21,7 ± 0,04	0
15 сутки	21,3 ± 0,04	1,84 ± 0,02	20,7 ± 0,02*	3,27 ± 0,03*	19,8 ± 0,03	8,75

Примечание. Y_t% — процент уменьшения площади раны; *p<0,05 — по сравнению с контролем

как ионных каналов, так и всей мембраны и, как следствие — изменение проницаемости мембран для различных ионов, важных для метаболизма. Наряду с этим сеансы облучения длительностью по 2 минуты, а также поляризованным светом в течение 5—10 минут при мощности излучения 20 Вт либо 30 мВт, как минимум на время облучения изменяли энергию активации биохимических реакций в самих цитоплазматических мембранах фибробластов. Естественным в таком случае, следствием изменений в ионных каналах и мембранах, должны стать изменения в цитозоле, приводящие в результате изменений обмена веществ между цитоплазмой и межклеточной жидкостью, как минимум, к положительному дисбалансу между процессами, определяющими пролиферацию, и процессами апоптоза в фибробластах. При этом определенным, видимым микроскопически результатом, становится не только ускоренное заживление ожоговой раны, но и уменьшение рубцевания. Принимая во внимание, что келоидные рубцы являются, в основном, следствием нарушений при ожоге гликопротеинового обмена, можно полагать, что и поляризованный свет, и лазерное облучение в проведенных экспериментах, либо ингибировали синтез гликозаминогликанов (основы рубцовой ткани), либо ускоряли их деградацию.

Выявленные нами изменения крови могут быть интерпретированы в рамках этой же логики, но с учётом особенностей форменных элементов, в частности — возможностей деления клеток, а также их иммунных компетенций. При этом следует помнить главные отличия не только в характеристиках излучений, но и в коэффициентах поглощения лучей определённого вида.

Заключение

Таким образом, поляризованные волны оптического диапазона, а также облучение красным спектром при лечении термических поражений кожи оказывают положительное действие за счет активации пролиферации элементов макрофагального и фибробластического ряда, ускоряя, тем самым, заживление ожоговых ран и предупреждая переход острого воспаления в хроническое. Этот вид фототерапии можно считать эффективным и возможным для использования в условиях монолечения ожогов кожи.

Сведения об авторах

Расулов Максуд Мухамеджанович, докт. мед. наук, профессор, начальник отдела государственного научного центра Российской Федерации «Государственный НИИ химии и технологии элементоорганических соединений» Государственной корпорации «Ростехнологии», Москва, Шоссе Энтузиастов, 38.

Моторина Ирина Геннадьевна, канд. мед. наук, ассистент кафедры, ГБУДПО Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ (ГБУДПО ИГМАПО); 664079, Иркутск, микрорайон «Юбилейный», дом 100; сайт: <http://www.igmapo.ru>

Юшков Геннадий Георгиевич, доцент кафедры, ФГБУ ВО Ангарский государственный технический университет Министерства образования и науки РФ (ФГБУ АнГТУ); Angarsk State Technical University: 665835, г. Ангарск Иркутской области, ул. Чайковского, дом 60; сайт: www.angtu.ru

Щукина Ольга Геннадьевна, канд. биол. наук, инженер-исследователь, ФГБУ ВО Ангарский государственный технический университет Министерства образования и науки РФ

Малышкина Наталья Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры, ФГБУ ВО Ангарский государственный технический университет Министерства образования и науки РФ

Список литературы

1. Оболенский В.Н., Родоман Г.В., Никитин В.Г., Карев Н.А. Трофические язвы нижних конечностей — обзор проблемы. *Русский медицинский журнал*. 2009; 25: 1647-50.
2. Пономаренко Г.Н. Применение полихроматического поляризованного некогерентного излучения аппаратов «Биоптрон» в комплексном лечении больных с ранами, трофическими язвами, ожогами и пролежнями. *Физиотерапевт*. 2010; 7: 48-59.
3. Шарипова М.М., Воронова С.Н., Рукин Е.М., Волмянко А.М. Сравнительная оценка ранозаживляющих эффектов при использовании аппаратов «Биоптрон», «Минитаг», «Орион+» и ламп полого катода. *Вопросы курортологии*. 2011; 4: 42-5.
4. Пузырева Г.А., Фролков В.К., Боровицкий И.П. Метаболические механизмы репаративного действия металлозависимого спектрального светового потока лампы с полым катодом. *Вопросы курортологии*. 2010; 3: 7-10.
5. Хабриев Р.У. *Руководство по экспериментальному изучению новых фармакологических веществ*. М.: Медицина; 2005. 41-53 с.
6. Макарова О.П., Богатова Н.П. Функции нейтрофильных лейкоцитов крови после термического ожога кожи у крыс. *Успехи современного естествознания*. 2004; 2: 53-4.
7. Маянский Д.Н. *Хроническое воспаление*. М.: Медицина; 1991. 272 с.
8. Кузин М.И., Костюченко Б.М. *Раны и раневая инфекция*. М.: Медицина; 1990. 221.

References

1. Obolenskii V.N., Rodoman G.V., Nikitin V.G., Karev N.A. Trophic ulcers of the lower extremities. *Overview. Russkii meditsinskii zhurnal*. 2009; 25: 1647-50. (in Russian)
2. Ponomarenko G.N. The use of the polarized polychromatic non-coherent radiation devices «Bioptron» in the complex treatment of patients with wounds, trophic ulcers, burns and bedsores. *Fizioterapevt*. 2010; 7: 48-59. (in Russian)
3. Sharipova M.M., Voronova S.N., Rukin E.M., Volmyanko A.M. Comparative evaluation of wound-healing effects when using apparatuses «BIOPTRON», «MINITAG», Orion «and the hollow cathode lamp. *Voprosy kurortologii*. 2011; 4: 42-5. (in Russian)
4. Puzyreva G.A., Frolov V.K., Borovitskii I.P. Metabolic mechanisms of reparative action of the hollow cathode lamp with metallo-dependent spectral luminous flux. *Voprosy kurortologii*. 2010; 3: 7-10. (in Russian)
5. Khabriev R.U. *Guidance for experimental study of new pharmacological substances*. Moskva: Meditsina; 2005. 41-53 p. (in Russian)
6. Makarova O.P., Bogatova N.P. Neutrophilic leukocytes function after thermal skin burn in rats. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2004; 2: 53-4. (in Russian)
7. Mayanskii D.N. *Chronic inflammation*. Moskva: Meditsina; 1991. 272 p. (in Russian)
8. Kuzin D.N., Kostyuchenok B.M. *Wounds and wound infection*. Moskva: Meditsina; 1990. 221 p. (in Russian)