

УДК 616.5-003.92:089

*М.И. Астахова¹, Л.В. Астахова¹, Е.С. Головнева^{1,2}, Т.Г. Кравченко¹***ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
РАЗНЫХ ДЛИН ВОЛН НА НЕКОТОРЫЕ РЕГУЛЯТОРНЫЕ КЛЕТОЧНЫЕ
ПОПУЛЯЦИИ НОРМОТРОФИЧЕСКОГО КОЖНОГО РУБЦА**¹ ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины», г. Челябинск, Российская Федерация;² ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет», г. Челябинск, Российская Федерация*M.I. Astakhova¹, L.V. Astakhova¹, E.S. Golovneva^{1,2}, T.G. Kravchenko¹***EVALUATION OF THE INFLUENCE OF HIGH-INTENSITY LASER OF
DIFFERENT WAVELENGTHS ON SOME REGULATORY CELLULAR
POPULATIONS OF NORMOTROPHIC SKIN SCAR**¹ Multidisciplinary center for laser medicine, Chelyabinsk, Russian Federation;² South-Ural State Medical University, Chelyabinsk, Russian Federation

Резюме. Действие высокоинтенсивного лазерного излучения различной длины волны на биологические ткани отличается по глубине проникновения и возможностям взаимодействия с хромофорами, что может влиять на степень повреждения тканевых структур и функциональную активность клеток. **Целью работы** была оценка динамики содержания регуляторных клеток в нормотрофическом кожном рубце в зависимости от длины волны высокоинтенсивного лазерного воздействия. **Материалы и методы.** Эксперимент проведен на 30 беспородных крысах с моделью рубцов в паравертебральных областях. Исследовали эффекты лазерного излучения с длиной волны 0,66 мкм, 1,060 мкм, 10,6 мкм. Доза и плотность мощности лазерной энергии в опытных группах были сопоставимыми. Животных выводили из эксперимента через 1 час, 1, 3 и 7 суток. Количество клеток анализировали в гистологических срезах морфометрическим методом. **Результаты исследования** показали, что при воздействии лазеров с длиной волны 0,66 и 1,060 мкм отмечалось увеличение количества и индекса дегрануляции тучных клеток с 1 часа после воздействия и до 3-х суток, при воздействии лазера 10,6 мкм тучные клетки во всех слоях рубца активировались, начиная со срока 1 сутки. Количество лимфоцитов возрастало на сроке 1 сутки и 3 суток при воздействии всех лазеров. Содержание макрофагов увеличивалось с 1 суток при воздействии лазера 1,06 мкм, для всех остальных длин волн – на сроке 3 суток. На 7 сутки отмечалось только увеличение содержания макрофагов в субэпидермальном слое рубцов в группе 10,6 мкм. **Выводы.** Таким образом, регуляторные клетки в рубцовой ткани после воздействия лазерного излучения последовательно увеличивали свое представительство. Особенности реакций регуляторных клеток, зависящие от длины волны лазерного излучения, могут сказаться на активности фибробластов, продукции коллагена и ре-

Abstract. The effect of high-intensity laser of different wavelengths on biological tissues differs in penetration depth and interaction with chromophores, which can affect the degree of tissue structure damage and functional activity of cells. **The aim of the work** was to assess the dynamics of the regulatory cells content in the normotrophic skin scar depending on the wavelength of high-intensity laser exposure. The experiment was carried out on 30 rats with a model of scars in the paravertebral regions. The effects of laser with wavelengths of 0.66 μm , 1.06 μm and 10.6 μm were studied. The dose and power density of laser energy in the experimental groups were comparable. Animals were removed from the experiment after 1 hour, 1, 3 and 7 days. The number of cells was analyzed in histological sections by morphometric method. The results of the study showed that 0.66 and 1.06 μm laser exposition increased the number and index of degranulation of mast cells from 1 hour to 3 days after; 10.6 μm laser activated mast cells starting from the 1st day in all layers of the scar. The number of lymphocytes increased on 1 day and 3 days after all laser expositions. The number of macrophages increased from 1 day after 1.06 μm laser irradiation, and on the 3 day for all other wavelengths. On 7 day, the number of macrophages increased only in the subepidermal layer of scars in the 10.6 μm laser group. Thus, the regulatory cells consistently increased their representation in the scar tissue after exposure to laser. Features of regulatory cell reactions on laser of different wavelengths may affect the activity of fibroblasts, collagen production and scar remodeling.

моделировании рубца.

Ключевые слова: лазер, кожный рубец, тучные клетки, лимфоциты, макрофаги

Keywords: laser, skin scar, mast cells, lymphocytes, macrophages

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Головнева Елена Станиславовна
micron30@mail.ru

Дата поступления 10.12.2020 г.

Образец цитирования:

Астахова М.И., Астахова Л.В., Головнева Е.С., Кравченко Т.Г. Оценка влияния высокоинтенсивного лазерного излучения разных длин волн на некоторые регуляторные клеточные популяции нормотрофического кожного рубца. Вестник уральской медицинской академической науки. 2020, Том 17, №1, с. 72–79, DOI: 10.22138/2500-0918-2020-17-1-72-79

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Elena S. Golovneva
micron30@mail.ru

Received 10.12.2020

For citation:

Astakhova M.I., Astakhova L.V., Golovneva E.S., Kravchenko T.G. Evaluation of the influence of high-intensity laser of different wavelengths on some regulatory cellular populations of normotrophic skin scar. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2020, Vol. 17, no. 1, pp. 72–79. DOI: 10.22138/2500-0918-2020-17-1-72-79 (In Russ).

Среди разнообразных методов коррекции кожных рубцов лазерные методики занимают ведущие позиции благодаря точности и строгой дозированности глубины проникновения излучения [1, 2].

Однако, до сих пор мнения специалистов в области эстетической медицины в оценке положительных и отрицательных сторон применения лазеров разной длины волны в коррекции нормотрофических рубцов довольно противоречивы, что связано с недостаточно полными фундаментальными исследованиями влияния высокоинтенсивного лазерного излучения [1, 3].

Фиброгенез в зоне повреждения ткани осуществляется фибробластами при активном участии регуляторных клеток, в том числе тучных клеток, лимфоцитов и макрофагов. Действие высокоинтенсивного лазерного излучения различной длины волны на биологические ткани отличается по глубине проникновения и возможностям взаимодействия с хромофорами, что может существенно влиять на степень повреждения тканевых структур и функциональную активность клеток [4, 5].

Целью данной работы была оценка динамики содержания регуляторных клеток в нормотрофическом кожном рубце в зависимости от длины волны применяемого высокоинтенсивного лазерного воздействия.

Материал и методы исследования

Эксперимент проведен на 30 беспородных лабораторных крысах обоего пола. На первом этапе эксперимента крысам моделировали кожный рубец. Для этого животным под общим обезболиванием препаратом «Золетил» (VirbacSanteAnimale, Франция) в паравертебральных областях спины симметрично иссекали кожные лоскуты размерами 6 см². Края получившейся раны фиксировали к мышцам одиночными узловыми швами. Полное рубцевание кожных дефектов про-

Among the various methods of skin scar correction, laser techniques occupy the leading position due to accuracy and strict dosage of radiation penetration depth [1, 2].

However, the opinions of aesthetic medicine specialists in assessing the positive and negative aspects of the use of lasers of different wavelengths for the correction of normotrophic scars are quite contradictory, due to insufficient fundamental studies of the influence of high-intensity laser [1, 3].

Fibrogenesis in the tissue damage site is carried out by fibroblasts with the active participation of mast cells, lymphocytes and macrophages. The effect of high-intensity laser of different wavelengths on biological tissues differs in penetration depth and interaction with chromophores, which can affect the degree of tissue structure damage and functional activity of cells [4, 5].

The aim of the work was to assess the dynamics of the regulatory cells content in the normotrophic skin scar depending on the wavelength of high-intensity laser exposure.

Material and methods

The experiment was carried out on 30 rats of both sexes. In the first stage of the experiment, the model of skin scar was done. Skin flaps of 6 cm² were symmetrically excised in the paravertebral sites of the back of animals under general anesthesia («Zoletil», VirbacSanteAnimale, France). The edges of the resulting wound were fixed to the muscles with a single nodular suture. Complete scarring of skin defects accomplished within a month. Scars in the right paravertebral region were exposed to laser, and the left served as a dynamic control.

In the second stage of the experiment, the animals were divided into three groups of 10 each. The first group included rats, which skin scars were once exposed to 0.66 μm laser («Milon», St. Petersburg, Russia), 2 W power,

исходило в течение месяца. Рубцы в правой паравертебральной области подвергали лазерному воздействию, а левые — служили динамическим контролем.

На втором этапе эксперимента животных разделили на три группы по 10 особей в каждой. В первую группу вошли крысы, которым однократно воздействовали на кожный рубец лазерным излучением длиной волны 0,66 мкм (лазерный аппарат «Ляхта – Милон», г. Санкт-Петербург, Россия), мощностью 2 Вт в непрерывном режиме, в течение 3-х минут. У животных второй группы рубец обрабатывали излучением диодного лазера с длиной волны 1,060 мкм, мощностью 2 Вт в непрерывном режиме, в течение 3-х минут. Крысам третьей группы обрабатывали кожный рубец в технике «лазерной шлифовки» (дермабразии) в течение 3-х минут лазерным излучением длиной волны 10,6 мкм (лазерный аппарат «Лансет-2», г. Тула, Россия), в суперимпульсном режиме «Медимпульс» с соотношением импульс — пауза 500 мкс: 0,1 с, мощностью импульса 50 Вт и диаметром пятна 0,5 мм. Доза и плотность мощности лазерной энергии в опытных группах были сопоставимыми.

Животных выводили из эксперимента через 1 час, 1 сутки, 3 суток и 7 суток. С паравертебральных областей спины иссекали кожные лоскуты, фиксировали в нейтральном растворе 12% формалина, проводили по спиртам возрастающей концентрации и заливали в парафин. Парафиновые срезы толщиной 5-7 мкм окрашивали гематоксилином-эозином и толуидиновым синим с pH 2,0. Микроскопическое исследование осуществляли на микроскопе LEICA DMRXA (Германия).

Морфометрическое исследование проводили с помощью компьютерной программы анализа изображений «ImageScope» (Leica, Германия). Определяли количество дегранулированных и целых тучных клеток в 0,1 мм² гистологического среза, рассчитывали их общее количество и определяли индекс дегрануляции по формуле $ID = \text{Дегранулированные клетки} / \text{общее количество}$. Подсчитывали количество лимфоцитов и макрофагов на 0,1 мм² гистологического среза. Замеры производили в субэпидермальной области рубцовой ткани и на границе с гиподермой.

Обработанные данные представлены в виде $M \pm m$, где M — среднее арифметическое, m — стандартная ошибка среднего. Для межгруппового сравнения использовался F-критерий дисперсионного анализа. Достоверность отличий между средними в различных группах опытов находили при помощи t-критерия Стьюдента, используя поправку Бонферрони [1]. Различия считали достоверными при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты собственных исследований и обсуждение

Через 1 час после воздействия лазерным излучением красного спектра и инфракрасного спектра возрастало количество тучных клеток и их индекс дегрануля-

continuous mode, for 3 minutes. In animals of the second group, the scar was treated with 1.06 μm diode laser, 2 W power, continuous mode, for 3 minutes. In the third group the skin scars were treated with 10.6 μm laser («Lancet-2», Tula, Russia), in the «laser resurfacing» (dermabrasion) technique in the superimpulse mode «Medimpulse» with a pulse — pause ratio of 500 μs :0.1s, pulse power of 50 W and spot diameter of 0.5 mm for 3 minutes. Dose and laser power density in the experimental groups were comparable.

Animals were removed from the experiment after 1 hour, 1 day, 3 days and 7 days. Skin flaps were excised from the paravertebral regions of the back, fixed with 12% neutral formalin, dehydrated in alcohol solutions of increasing concentration and embedded into paraffin. Paraffin sections 5-7 μm thick were stained with hematoxylin-eosin and toluidine blue pH 2.0. Microscopic examination was carried out with LEICA DMRXA microscope (Germany).

The morphometric study was carried out using the computer image analysis program «ImageScope» (Leica, Germany). The number of degranulated and whole mast cells in 0.1 mm² of histological section was determined, their total number was calculated and the degranulation index was determined as $ID = \text{degranulated} / \text{total number}$. The number of lymphocytes and macrophages per 0.1 mm² of histological section was counted. Measurements were made in the subepidermal area of scar tissue and at the border with the hypodermic.

The processed data are presented as $M \pm m$, where M is the arithmetic mean, m is the standard error of the mean. The F-criterion of variance analysis was used for intergroup comparison. The reliability of the differences between the averages in different groups of experiments were found using the Student's t-test with Bonferroni correction [1]. The differences were considered significant at $P < 0.05$ significance level.

Results and discussion

1 hour after red and near-infrared laser exposure, the number of mast cells and their degranulation index in the surface and deep layers of the scar increased, and after far infrared laser treatment the number of mast cells increased only in the surface layers of scar tissue. Lymphocyte and macrophage reaction was not observed for any of the lasers (table 1).

After 1 day, the degranulation index of mast cells acquired maximum values in all experimental groups, their number also increased significantly compared to the control. The number of lymphocytes increased in all layers of the scar in all exposed animals. The number of macrophages significantly increased only for 1.06 μm laser in the deep layers of the scar (table 2).

After 3 days, the index of mast cell degranulation in animals of all experimental groups decreased compared to the first day, but was still significantly higher than control values. The total number of mast cells in animals of all experimental groups compared to control values remained significantly increased (table 3).

ции в поверхностных и глубоких слоях рубца, а после обработки лазерным излучением дальнего инфракрасного диапазона количество тучных клеток увеличивалось только в поверхностных слоях рубцовой ткани. Реакции со стороны лимфоцитов и макрофагов не отмечалось ни при одном из лазерных воздействий (Таблица 1).

Таблица 1

Количество клеток ($M \pm m$) в $0,1 \text{ мм}^2$ нормотрофического кожного рубца через 1 час после обработки лазерным излучением

		контроль	1 группа (0,66 мкм)	2 группа (1,06 мкм)	3 группа (10,6 мкм)
Тучные клетки	Субэпидермальная зона	5,76±0,46	8,55±0,72*	9,67±0,87*	8,45±0,75*
	Граница с гиподермой	12,33±1,12	19,01±1,52*	22,08±1,76*	13,87±1,01
ИД ТК	Субэпидермальная зона	0,33±0,02	0,67±0,05*	0,78±0,05*	0,39±0,03
	Граница с гиподермой	0,35±0,02	0,58±0,04*	0,67±0,05*	0,42±0,04
Лимфоциты	Субэпидермальная зона	3,13±0,23	4,34±0,31	3,98±0,28	5,56±0,45
	Граница с гиподермой	15,81±1,26	14,87±1,18	16,67±1,45	17,43±1,81
Макрофаги	Субэпидермальная зона	4,54±0,41	5,01±0,49	3,98±0,41	5,55±0,50
	Граница с гиподермой	10,04±0,88	8,92±0,78	12,76±1,12	11,62±1,09

Примечание: * — $P < 0,05$

Таблица 2

Количество клеток ($M \pm m$) в $0,1 \text{ мм}^2$ нормотрофического кожного рубца через 1 сутки после обработки лазерным излучением

		контроль	1 группа (0,66 мкм)	2 группа (1,060 мкм)	3 группа (10,6 мкм)
Тучные клетки	Субэпидермальная зона	5,76±0,46	10,44±0,88*	12,76±1,07*	9,65±0,75*
	Граница с гиподермой	12,33±1,12	21,13±1,88*	28,95±2,03*	19,64±1,73*
ИД ТК	Субэпидермальная зона	0,33±0,02	0,89±0,07*	0,88±0,06*	0,65±0,05*
	Граница с гиподермой	0,35±0,02	0,79±0,07*	0,84±0,06*	0,77±0,06*
Лимфоциты	Субэпидермальная зона	3,13±0,23	6,55±0,55*	7,88±0,65*	6,44±0,55*
	Граница с гиподермой	15,81±1,26	22,78±1,58*	29,82±2,05*	22,31±1,67*
Макрофаги	Субэпидермальная зона	4,54±0,41	5,12±0,49	6,02±0,55	3,89±0,23
	Граница с гиподермой	10,04±0,88	8,92±0,78	17,61±1,33*	11,62±1,09

Примечание: * — $P < 0,05$

Через 1 сутки индекс дегрануляции тучных клеток приобретал максимальные значения во всех опытных группах, также достоверно по отношению к контролю

Таблица 1

Number of cells ($M \pm m$) in 0.1 mm^2 of normotrophic skin scar 1 hour after laser treatment

		Control	1 group (0.66 μm)	2 group (1.06 μm)	3 group (10.6 μm)
Mast Cells	Subepidermal	5.76±0.46	8.55±0.72*	9.67±0.87*	8.45±0.75*
	Hypodermis border	12.33±1.12	19.01±1.52*	22.08±1.76*	13.87±1.01
ID MC	Subepidermal	0.33±0.02	0.67±0.05*	0.78±0.05*	0.39±0.03
	Hypodermis border	0.35±0.02	0.58±0.04*	0.67±0.05*	0.42±0.04
Lymphocytes	Subepidermal	3.13±0.23	4.34±0.31	3.98±0.28	5.56±0.45
	Hypodermis border	15.81±1.26	14.87±1.18	16.67±1.45	17.43±1.81
Macrophages	Subepidermal	4.54±0.41	5.01±0.49	3.98±0.41	5.55±0.50
	Hypodermis border	10.04±0.88	8.92±0.78	12.76±1.12	11.62±1.09

Note: * — $P < 0.05$

Таблица 2

Number of cells ($M \pm m$) in 0.1 mm^2 of normotrophic skin scar 1 day after laser treatment

		Control	1 group (0.66 μm)	2 group (1.06 μm)	3 group (10.6 μm)
Mast Cells	Subepidermal	5.76±0.46	10.44±0.88*	12.76±1.07*	9.65±0.75*
	Hypodermis border	12.33±1.12	21.13±1.88*	28.95±2.03*	19.64±1.73*
ID MC	Subepidermal	0.33±0.02	0.89±0.07*	0.88±0.06*	0.65±0.05*
	Hypodermis border	0.35±0.02	0.79±0.07*	0.84±0.06*	0.77±0.06*
Lymphocytes	Subepidermal	3.13±0.23	6.55±0.55*	7.88±0.65*	6.44±0.55*
	Hypodermis border	15.81±1.26	22.78±1.58*	29.82±2.05*	22.31±1.67*
Macrophages	Subepidermal	4.54±0.41	5.12±0.49	6.02±0.55	3.89±0.23
	Hypodermis border	10.04±0.88	8.92±0.78	17.61±1.33*	11.62±1.09

Note: * — $P < 0.05$

Таблица 3

Number of cells ($M \pm m$) in 0.1 mm^2 of normotrophic skin scar 3 days after laser treatment

		Control	1 group (0.66 μm)	2 group (1.06 μm)	3 group (10.6 μm)
Mast Cells	Subepidermal	5.76±0.46	9.83±0.74*	10.45±0.95*	9.21±0.80*
	Hypodermis border	12.33±1.12	18.44±1.62*	21.54±1.68*	16.33±1.43*
ID MC	Subepidermal	0.33±0.02	0.59±0.04*	0.62±0.05*	0.44±0.03*
	Hypodermis border	0.35±0.02	0.65±0.05*	0.74±0.06*	0.66±0.5*
Lymphocytes	Subepidermal	3.13±0.23	7.05±0.59*	10.18±0.95*	8.67±0.50*
	Hypodermis border	15.81±1.26	23.43±1.60*	25.22±2.25*	18.87±1.71
Macrophages	Subepidermal	4.54±0.41	10.27±0.87*	12.66±1.11*	9.05±0.83*
	Hypodermis border	10.04±0.88	12.55±1.08	17.61±1.33*	11.62±1.09

Note: * — $P < 0.05$

The number of lymphocytes after treatment with red and near infrared laser was significantly higher than control values in all layers of scar tissue, and in animals of the

увеличивалась их численность. Количество лимфоцитов нарастало во всех слоях рубца у животных, получивших лазерное воздействие. Количество макрофагов достоверно увеличилось лишь для длины волны 1,06 мкм в глубоких слоях рубца (Таблица 2).

Через 3 суток индекс дегрануляции тучных клеток у животных всех опытных групп снижался по отношению к первым суткам, но все еще был достоверно больше контрольных значений. Общее количество тучных клеток у животных всех опытных групп по отношению к контрольным значениям оставалось достоверно увеличенным (Таблица 3).

Таблица 3

Количество клеток ($M \pm m$) в $0,1 \text{ мм}^2$ нормотрофического кожного рубца через 3 суток после обработки лазерным излучением

		контроль	1 группа (0,66 мкм)	2 группа (1,06 мкм)	3 группа (10,6 мкм)
Тучные клетки	Субэпидермальная зона	5,76±0,46	9,83±0,74*	10,45±0,95*	9,21±0,80*
	Граница с гиподермой	12,33±1,12	18,44±1,62*	21,54±1,68*	16,33±1,43*
ИД ТК	Субэпидермальная зона	0,33±0,02	0,59±0,04*	0,62±0,05*	0,44±0,03*
	Граница с гиподермой	0,35±0,02	0,65±0,05*	0,74±0,06*	0,66±0,5*
Лимфоциты	Субэпидермальная зона	3,13±0,23	7,05±0,59*	10,18±0,95*	8,67±0,50*
	Граница с гиподермой	15,81±1,26	23,43±1,60*	25,22±2,25*	18,87±1,71
Макрофаги	Субэпидермальная зона	4,54±0,41	10,27±0,87*	12,66±1,11*	9,05±0,83*
	Граница с гиподермой	10,04±0,88	12,55±1,08	17,61±1,33*	11,62±1,09

Примечание: * — $P < 0,05$

Количество лимфоцитов после обработки излучением красного и ближнего инфракрасного диапазона было достоверно больше контрольных значений во всех слоях рубцовой ткани, а у животных третьей группы оно было повышенным лишь в поверхностных слоях рубца. Численная плотность макрофагов в первой и третьей опытных группах нарастала в поверхностных слоях рубца, а у животных второй группы эти значения были достоверно больше контрольных во всех слоях рубцовой ткани.

К концу 7-х суток индекс дегрануляции тучных клеток и их общее количество во всех опытных группах не отличались от контрольных значений (Таблица 4).

Количество лимфоцитов у животных опытных групп было на уровне контроля. Количество макрофагов после обработки излучением красного и ближнего инфракрасного диапазона в поверхностных слоях рубца уменьшалось до контрольных значений, но оставалось повышенным в поверхностных областях у животных третьей группы, после воздействия углекислого лазера.

third group it was increased only in the surface layers of the scar. The numerical density of macrophages increased in the surface layers of the scar in the first and third experimental groups; and these values were significantly higher than control in all layers of scar tissue in animals of the second group.

By the end of 7 day the index of mast cell degranulation and their total number did not differ from the control values in all experimental groups (table 4).

Table 4

Number of cells ($M \pm m$) in 0.1 mm^2 of normotrophic skin scar 7 days after laser treatment

		Control	1 group (0.66 μm)	2 group (1.06 μm)	3 group (10.6 μm)
Mast Cells	Subepidermal	5.76±0.46	7.11±0.56	5.55±0.30	6.39±0.43
	Hypodermis border	12.33±1.12	11.50±1.01	10.48±0.89	13.33±1.25
ID MC	Subepidermal	0.33±0.02	0.35±0.02	0.32±0.02	0.29±0.01
	Hypodermis border	0.35±0.02	0.40±0.02	0.38±0.02	0.33±0.1
Lymphocytes	Subepidermal	3.13±0.23	4.85±0.31	4.18±0.38	6.72±0.53
	Hypodermis border	15.81±1.26	17.77±1.47	16.35±1.29	13.37±1.04
Macrophages	Subepidermal	4.54±0.41	3.84±0.27	5.03±0.41	10.43±0.91*
	Hypodermis border	10.04±0.88	11.12±0.94	9.75±0.75	14.03±1.12

Note: * — $P < 0,05$

The number of lymphocytes was at the control level. The number of macrophages after treatment with red and near infrared laser in the surface layers of the scar decreased to control values, but remained elevated in the surface areas in third group animals after exposure to carbon dioxide laser.

Thus, the number of regulatory cells in the skin scar was associated with both the time after scar exposure and the depth of penetration of laser radiation. The stages of inflammatory process development were evident in all groups but had their own characteristics.

The phases of alteration and exudation were characterized by the participation of mast cells and were more pronounced when exposed to red and near infrared laser. 1 hour after CO_2 laser exposure mast cells were activated only in the surface layers of the skin, which was associated with the lowest penetrating depth of this laser.

Biologically active substances of mast cells help to attract lymphocytes and macrophages to the lesion. Tissue decay products activate T-lymphocytes, which through lymphokines or directly connect macrophages to the inflammation process. Moreover, macrophages act as true regulators of fibrogenesis process, since they not only stimulate fibroblasts, but also can inhibit their function [4, 5]. Though the increase in the number of lymphocytes in the scar tissue occurred 1 day after any laser exposition, the number of macrophages increased only when exposed to 1.06 μm laser, and in the deep layers of the scar. This laser caused the most pronounced changes in the cellular

Таблица 4

Количество клеток ($M \pm m$) в $0,1 \text{ мм}^2$ нормотрофического кожного рубца через 7 суток после обработки лазерным излучением

		контроль	1 группа (0,66 мкм)	2 группа (1,06 мкм)	3 группа (10,6 мкм)
Тучные клетки	Субэпидермальная зона	5,76 \pm 0,46	7,11 \pm 0,56	5,55 \pm 0,30	6,39 \pm 0,43
	Граница с гиподермой	12,33 \pm 1,12	11,50 \pm 1,01	10,48 \pm 0,89	13,33 \pm 1,25
ИД ТК	Субэпидермальная зона	0,33 \pm 0,02	0,35 \pm 0,02	0,32 \pm 0,02	0,29 \pm 0,01
	Граница с гиподермой	0,35 \pm 0,02	0,40 \pm 0,02	0,38 \pm 0,02	0,33 \pm 0,1
Лимфоциты	Субэпидермальная зона	3,13 \pm 0,23	4,85 \pm 0,31	4,18 \pm 0,38	6,72 \pm 0,53
	Граница с гиподермой	15,81 \pm 1,26	17,77 \pm 1,47	16,35 \pm 1,29	13,37 \pm 1,04
Макрофаги	Субэпидермальная зона	4,54 \pm 0,41	3,84 \pm 0,27	5,03 \pm 0,41	10,43 \pm 0,91*
	Граница с гиподермой	10,04 \pm 0,88	11,12 \pm 0,94	9,75 \pm 0,75	14,03 \pm 1,12

Примечание: * — $P < 0,05$

Таким образом, количество регуляторных клеток в кожном рубце было связано как с временем, прошедшим после воздействия на рубец, так и с глубиной проникновения лазерного излучения. Этапы развития воспалительного процесса четко прослеживались при воздействии всех лазеров, но имели свои особенности.

Фаза альтерации и экссудации характеризовалась участием тучных клеток и была ярче выражена при воздействии красного и инфракрасного лазера ближнего диапазона. При воздействии CO_2 лазера тучные клетки на сроке 1 час активировались только в поверхностных слоях кожи, что было связано с самой низкой проникающей способностью этого лазера.

Биологически активные вещества тучных клеток способствуют привлечению лимфоцитов и макрофагов в очаг повреждения. Продукты распада тканей активируют Т-лимфоциты, которые через лимфокины или напрямую подключают макрофаги к процессу воспаления [4]. Если повышение количества лимфоцитов в рубцовой ткани отмечалось на сроке 1 сутки при воздействии всех лазеров, то количество макрофагов увеличивалось только при воздействии лазера 1,060 мкм, причем в глубоких слоях рубца. Этот лазер характеризовался наибольшей глубиной проникновения из изученных нами, и вызывал наиболее выраженные изменения в клеточном составе соединительной ткани. К третьим суткам происходил переход воспаления в пролиферативную фазу и макрофагальная реакция отмечалась уже во всех опытных группах. Макрофаги выступают истинными регуляторами процесса фиброгенеза, так как не только стимулируют фибробласты, но могут тормозить их функцию коллагенообразования [4, 5]. Регуляторные клетки в рубцовой ткани, подвергавшейся воздействию лазерного излучения, после-

composition due to the most depth of penetration. By 3 day the inflammation shifted to the proliferative phase and macrophage reaction was observed in all experimental groups, and only in the CO_2 laser group on the 7 day. Regulatory cells in scar tissue exposed to laser radiation consistently increase their representation: mast cells first, then lymphocytes and macrophages. By the seventh day of their involvement in the process of tissue remodeling their number reduced to the control level.

Thus, laser exposure to different wavelengths in comparable doses of laser energy has different effects on the quantitative and functional characteristics of cell populations of scar tissue, which can further affect the functional activity of fibroblasts and reorganization of skin scar collagen matrix.

довательно увеличивают свое представительство: вначале тучные клетки, затем лимфоциты и макрофаги, к седьмым суткам их вовлеченность в процесс тканевого ремоделирования снижается до уровня контроля. Группа CO₂ лазера отличалась относительным запаздыванием реакции тучных клеток и более длительной макрофагальной реакцией.

Таким образом, лазерное воздействие различного спектра в сопоставимых дозах лазерной энергии по-разному влияет на количественные и функциональные характеристики клеточных популяций рубцовой ткани, что в дальнейшем может оказывать влияние на функциональную активность фибробластов и процессы перестройки коллагенового матрикса кожного рубца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаробаро В. И., Романец О. П., Гречишников М. И. и др. Методы оптимизации лечения и профилактики рубцов //Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова, 2015, №9, С. 85-90.
2. Гейниц А.В., Доронин В.А. Опыт применения CO₂-лазера и оптико-механических сканеров при дермабразии // Вестник новых медицинских технологий. Тула, 2001, Т. VIII, № 4, С. 57—59.
3. Горбатова Н.Е., Золотов С.А., Никифоров С.М. и др. Эстетическая коррекция рубцовой деформации кожных покровов у детей импульсным излучением CO₂-лазера малой длительности //Лазерная медицина, 2014, Т. 18, № 4, С. 49-50.
4. Горбатова Н.Е., Золотов С.А., Симановский Я.О. и др. Сравнительная гистологическая оценка эффективности режимов абляции импульсами CO₂-лазеров различной длительности кожных покровов мини-свиней для целей лазерной дермабразии //Московский хирургический журнал, 2013, № 4 (32), С. 46-53.
5. Елисеенко В.И. Патологическая анатомия и патогенез лазерной раны //Лазерная медицина, 2017, Т. 21, № 4, С. 5-10.

Авторы

Астахова Мария Ильинична
ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины»
Научный сотрудник,
454021, Российская Федерация, Челябинск, пр. Победы, 287
laser-chelyabinsk@yandex.ru

Астахова Людмила Витальевна
ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины»
Кандидат медицинских наук, руководитель отдела поисковых исследований
454021, Российская Федерация, Челябинск, пр. Победы, 287
bonikva@mail.ru

REFERENCES

1. Sharobaro V. I., Romanec O. P., Grechishnikov M. I. et. al. Metody optimizacii lechenija i profilaktiki rubcov. Hirurgija. Zhurnal im. N.I. Pirogova, 2015, №9, pp. 85-90(In Russ.).
2. Gejnic A.V., Doronin V.A. Opyt primenenija CO₂-lazera i optiko-mehaničeskikh skanerov pri dermabrazii. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Tula, 2001, V. VIII, № 4. pp. 57—59 (In Russ.).
3. Gorbatova N.E., Zolotov S.A., Nikiforov S.M. et.al. Jesteticheskaja korrekcija rubcovoju deformacii kozhnyh pokrovov u detej impul'snym izlucheniem CO₂-lazera maloj dlitel'nosti. Lazernaja medicina. 2014. V. 18. № 4. pp. 49-50 (In Russ.).
4. Gorbatova N.E., Zolotov S.A., Simanovskij Ja.O. et.al. Sravnitel'naja gistologičeskaja ocenka jeffektivnosti rezhimov abljacii impul'sami CO₂-lazerov razlichnoj dlitel'nosti kozhnyh pokrovov mini-svinej dlja celej lazernoju dermabrazii. Moskovskij hirurgičeskij zhurnal. 2013. № 4 (32). pp. 46-53 (In Russ.).
5. Eliseenko V.I. Patologičeskaja anatomija i patogenez lazernoju rany. Lazernaja medicina. 2017, V. 21, № 4, pp. 5-10 (In Russ.).

Authors

Marija I. Astakhova
Multidisciplinary center for laser medicine
Researcher
287 Pobedy av. Chelyabinsk, Russian Federation 454021
laser-chelyabinsk@yandex.ru

Ljudmila V. Astakhova
Multidisciplinary center for laser medicine
Cand. Sci. (Med.), Head of Research
287 Pobedy av. Chelyabinsk, Russian Federation 454021
bonikva@mail.ru

Elena S. Golovneva
SouthUral State Medical University
64 Vorovskogo str. Chelyabinsk Russian Federation 454092
Dr. Sci. (Med.), Professor of Department of the Normal

Головнева Елена Станиславовна
ФГБУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России
454092, Российская Федерация, г. Челябинск, ул. Воровского, 64
Доктор медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии, доцент
ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины»
Заместитель директора по научно-исследовательской работе
454021, Российская Федерация, Челябинск, пр. Победы, 287
micron30@mail.ru

Physiology
micron30@mail.ru

Tat'jana G. Kravchenko
Multidisciplinary center for laser medicine
Cand. Sci. (Bio.), Senior Researcher
287 Pobedy av. Chelyabinsk, Russian Federation 454021
bossanova@yandex.ru

Кравченко Татьяна Геннадьевна
ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины»
Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
454021, Российская Федерация, Челябинск, пр. Победы, 287
bossanova@yandex.ru