УДК 616.5-001.22 DOI: 10.15372/SSMJ20180411

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ БАРЬЕРНОЙ ФУНКЦИИ ЭПИДЕРМИСА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Алексей Станиславович МУХИН[1], Евгений Анатольевич ЛЕОНТЬЕВ[2]

[1] *Приволжский исследовательский медицинский университет Минздрава России*
603005, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1

[2] *Городская клиническая больница № 1 Минздрава Чувашии*
428028, г. Чебоксары, просп. Тракторостроителей, 46

Цель исследования – определить оптимальную методику снижения барьерной функции эпидермиса кожи для увеличения глубины проникновения лазерного излучения в ткани. **Материал и методы.** Эксперименты проводили с полнослойными образцами кожи человека, полученными после хирургического вмешательства. Для определения глубины проникновения лазерного излучения в биологические ткани с одной стороны облучаемой ткани размещали источник лазерного излучения, с другой стороны, соосно с ним, вводили стеклянный световод. Приемником излучения был фотоэлектронный умножитель. Вместе с изменением положения световода в массиве тканей изменялась плотность светового потока. После построения кривой интенсивности излучения определяли глубину его проникновения в облучаемый образец. Нативные препараты кожи человека исследовали до и после воздействия физических факторов. Для проведения исследования применяли методы микродермабразии, лазерной абляции поверхностных слоев кожи, ионофореза и ультразвука с целью снижения барьерной функции эпидермиса кожи. После воздействия данных методов была измерена глубина проникновения лазерного излучения в ткани при прохождении излучения лазеров с длинами волн 532 и 1064 нм. **Результаты и их обсуждение.** Установлено, что микродермабразия и лазерная абляция рогового слоя эпидермиса снижают поглощение лазерного излучения на глубине до 2,5 мм, что позволяет значительно уменьшать мощность лазерного излучения.

Ключевые слова: тату, татуировочный пигмент, удаление тату, дермабразия, лазеротерапия.

Проблема удаления татуировок столь же стара, как и само явление художественных рисунков на теле. На сегодняшний день во многих косметических клиниках по-прежнему широко используются деструктивные методы удаления татуировок, такие как снятие верхнего слоя кожи методами дермабразии, аргона или углекислотного лазера [1–3]. Все эти методы потенциально несут высокий риск образования рубцов. Лазерный селективный термолиз намного эффективнее и безопаснее [2, 3, 7], однако значительно сложнее технически. Если для удаления любой татуировки с помощью CO_2-лазера достаточно выполнить одну процедуру с применением одного источника излучения с универсальными характеристиками, то метод лазерного селективного термолиза потребует из-за огромного разнообразия цветов целый ряд источников лазерного излучения с различными длинами волн, которые к тому же будут отличаться мощностью и длительностью импульса, и определенное количество сеансов. Подбор типа источника лазерного излучения зависит от вида и глубины расположения пигмента [2, 3]. Пигментные частицы нередко обнаруживаются в дермальных фибробластах и тучных клетках, преимущественно в периваскулярном положении [9]. Излучение неодимового лазера проникает глубоко в кожу и сильно поглощается синими, зелеными и черными пигментами татуировки, включенными в состав большинства татуировок [10].

При облучении кожи короткими лазерными импульсами нагрев и термическая деструкция пигментных частиц происходят значительно быстрее, чем нагрев окружающей дермальной ткани [2, 3]. Уничтожение соединительнотканной капсулы вокруг части пигмента и фрагментация самих частиц позволяют лимфатической системе организма удалять частицы пигмента [10]. Сложность заключается в том, что глубина расположения частиц пигмента может намного превышать возможность проникновения лазерного излу-

Мухин А.С. *– д.м.н., проф., зав. кафедрой хирургии*
Леонтьев Е.А. *– к.м.н., e-mail: lea737@yandex.ru*

чения, а также вероятным наличием над ними структур, отражающих лазерное излучение [10]. Кроме того, некоторые многоцветные татуировки содержат пигменты, которые не поглощают или незначительно поглощают лазерное излучение [12]. Потери энергии, вызванные рассеянием света и поглощением тканями, могут быть компенсированы увеличением интенсивности лазерного излучения, но это может привести к повышению температуры в локализованных зонах взаимодействия и повреждению тканей. В последнее время предложены способы для снижения барьерной функции эпидермиса кожи с использованием различных источников энергии и оптики. Применяют различные физические методы, такие как микродермабразия [6], лазерная абляция поверхности кожи [11], ионофорез [5], ультразвук [8]. Поскольку роговой слой эпидермиса не является жизнеспособной тканью, нарушение барьерной функции кожи при его повреждении носит временный характер и приводит к локальному увеличению проникновения лазерного излучения в ткани [4]. В результате в тканях поглощается достаточное количество оптической энергии для разрушения пигментных частиц [4, 13]. Поэтому существует потребность в оценке эффективности методов, обеспечивающих проницаемость барьера для лазерного излучения.

Целью данной работы является исследование снижения барьерной функции эпидермиса кожи под воздействием микродермабразии, лазерной абляции поверхности кожи, ионофореза, ультразвука и фотомеханических волн для увеличения глубины проникновения лазерного излучения в ткани.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили с полнослойными образцами кожи человека, полученными после хирургического вмешательства у людей среднего возраста. Пациенты проходили обследование и лечение на базе Городской клинической больницы № 1 г. Чебоксары. Ото всех получено информированное согласие на участие в исследовании, которое проведено в соответствии со стандартами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2008 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 № 266. Образцы кожи хранили в физиологическом растворе через 20–24 ч после удаления, изучали после удаления жировой ткани. Перед экспериментом толщину образцов измеряли микрометром с точностью измерений ± 100 мкм, в среднем она составила 2,0 ± 0,25 мм. Источником излучения был инфракрасный излучатель с набором светофильтров 532 нм, 1064 нм. Приемником излучения был фотоэлектронный умножитель – электровакуумный прибор, в котором минимальное количество оптического излучения при попадании на фотокатод приводит к потоку электронов, усиливаемому в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии, при этом ток в коллекторе вторичных электронов превышает первоначальный не менее чем в 100 раз. Препараты кожи исследовали до и после воздействия физических факторов.

Для определения глубины проникновения лазерного излучения в биологические ткани с одной стороны облучаемой ткани размещали источник лазерного излучения, с другой соосно с ним вводили стеклянный световод. Вместе с изменением положения световода в массиве тканей изменялась плотность светового потока. После построения кривой интенсивности излучения определяли глубину его проникновения в облучаемый образец. Для снижения барьерной функции эпидермиса исследуемые образцы предварительно подвергали воздействию аппаратом для алмазной микродермабразии «IONTO-SKIN Abrasion Comfort” (Ionto Comed, ФРГ), который снимает поверхностный слой клеток острыми гранями микрокристаллов оксида алюминия. На данном аппарате также проводилась ультразвуковая терапия. Лазерная абляция поверхности кожи выполнялась CO_2-лазером, ионофорез – аппаратом Элфор-К.

Статистическую обработку результатов исследования проводили, вычисляя среднее арифметическое значение (M), ошибку среднего арифметического значения (m), и представляли в виде $M \pm m$. Различия между группами оценивали с помощью критерия Стьюдента, достоверными считались результаты при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные представлены в табл. 1–4, где группа «Контроль» – нативные образцы кожи, группа «Опыт» – образцы, предварительно подвергнутые воздействию физических факторов. Из таблиц видно, что воздействие ультразвуковых волн и ионофореза не оказывает сколько-нибудь значимого воздействия на глубину проникновения лазерного излучения в ткань, в то время как микродермабразия и лазерная абляция значительно увеличивают ее, при этом наиболее существенно – при увеличении частоты излучения.

Таблица 1

Глубина проникновения лазерного излучения в образцы кожи, предварительно обработанные методом ионофореза

Глубина, мм	Интенсивность излучения, усл. ед.			
	λ = 532 нм		λ = 1064 нм	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
0,1	91 ± 3,2	93 ± 2,2	91 ± 2,9	93 ± 3,0
0,2	41 ± 2,7	40 ± 2,0	57 ± 2,3	58 ± 2,0
0,7	27 ± 2,1	28 ± 2,3	41 ± 3,9	42 ± 2,0
1,0	14 ± 1,7	13 ± 1,1	34 ± 1,2	35 ± 1,1
1,3	5 ± 1,3	5 ± 2,1	22 ± 1,3	23 ± 1,2
1,5	1 ± 0,1	1 ± 1,0	10 ± 1,3	11 ± 2,0
1,7	0	0	3 ± 0,2	3 ± 0,1
2,5	0	0	0	0

Таблица 2

Глубина проникновения лазерного излучения в образцы кожи, предварительно обработанные методом ультразвуковой терапии

Глубина, мм	Интенсивность излучения, усл. ед.			
	λ = 532 нм		λ = 1064 нм	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
0,1	89 ± 3,1	90 ± 2,9	94 ± 2,7	95 ± 2,9
0,2	39 ± 1,7	42 ± 1,9	58 ± 2,1	59 ± 2,7
0,7	25 ± 2,2	28 ± 1,7	43 ± 2,9	45 ± 3,1
1,0	13 ± 2,3	13 ± 1,5	35 ± 1,3	36 ± 1,5
1,3	4 ± 2,0	4 ± 1,2	23 ± 1,2	24 ± 1,9
1,5	1 ± 0,2	1 ± 0,1	11 ± 1,4	13 ± 1,8
1,7	0	0	3 ± 0,7	3 ± 0,8
2,5	0	0	0	0

Таблица 3

Глубина проникновения лазерного излучения в образцы кожи, предварительно обработанные методом микродермабразии

Глубина, мм	Интенсивность излучения, усл. ед.			
	λ = 532 нм		λ = 1064 нм	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
0,1	91 ± 2,9	97 ± 3,3*	92 ± 3,0	97 ± 3,0*
0,2	41 ± 2,0	57 ± 3,1*	56 ± 2,0	67 ± 2,0*
0,7	26 ± 2,1	42 ± 2,2*	42 ± 1,7	55 ± 2,0*
1,0	14 ± 1,5	32 ± 2,1*	33 ± 1,7	41 ± 2,1*
1,3	5 ± 1,0	21 ± 1,7*	24 ± 1,1	35 ± 1,2*
1,5	1 ± 0,1	7 ± 1,0*	12 ± 1,2	24 ± 2,0*
1,7	0	3 ± 1,8*	3 ± 0,3	7 ± 0,1*
2,5	0	2,0 ± 0,8*	0	3 ± 0,2*

Примечание. Здесь и в табл. 4 * – отличие от величины соответствующего показателя группы «Контроль» статистически значимо при $p < 0,05$.

Таблица 4

Глубина проникновения лазерного излучения в образцы кожи, предварительно обработанные методом лазерной абляции

Глубина, мм	Интенсивность излучения, усл. ед.			
	λ = 532 нм		λ = 1064 нм	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
0,1	87 ± 3,1	98 ± 3,7*	90 ± 2,3	98 ± 2,0*
0,2	40 ± 2,7	59 ± 3,1*	53 ± 1,9	70 ± 3,0*
0,7	25 ± 1,9	41 ± 3,2*	43 ± 2,9	57 ± 2,3*
1,0	13 ± 2,7	35 ± 1,7*	32 ± 1,5	47 ± 2,0*
1,3	5 ± 0,9	19 ± 1,5*	23 ± 1,3	40 ± 2,7*
1,5	1 ± 0,1	7 ± 1,1*	11 ± 1,3	27 ± 2,3*
1,7	0	3 ± 2,0*	3 ± 0,2	7 ± 0,3*
2,5	0	2,1 ± 0,9*	0	3 ± 0,1*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе приведены результаты исследования возможности снижения барьерной функции эпидермиса кожи для проникновения лазерного излучения с длинами волн 532 и 1064 нм путем применения методов микродермабразии, лазерной абляции поверхностных слоев кожи, ионофореза и ультразвука. Установлено, что микродермабразия и лазерная абляции рогового слоя эпидермиса снижают поглощение лазерного излучения на глубине до 2,5 мм, что позволяет значительно уменьшать его мощность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авраменко С.В., Ступин И.В*. Устройство коагуляции тканей. Пат. 95104929/14 РФ; Опубл. 27.12.1997.

2. *Мухин А.С., Леонтьев Е.А*. Деструкция поверхностного слоя эпидермиса увеличивает глубину проникновения лазерного излучения в биологические ткани // Врач-аспирант. 2017. 81. (2). 75–81.

3. *Мухин А.С., Леонтьев Е.А*. Оптимизация оптико-физических характеристик селективного фототермолиза // Врач-аспирант. 2017. 83. (4). 84–90.

4. *Altshuler G., Smirnov M., Yaroslavsky I*. Lattice of optical islets: a novel treatment modality in photomedicine // J. Phys. D: Appl. Phys. 2005. 38. 2732–2747.

5. *Bodde H.E., Roemele P.E., Star W.M*. Quantification of topically delivered 5-aminolevulinic acid by lontophoresis across ex vivo human stratum corneum // Photochem. Photobiol. 2002. 75. (4). 418–423.

6. *Fang J.Y., Lee W.R., Shen S.C., Fang Y.P., Hu C.H*. Enhancement of topical 5-aminolaevulinic acid delivery by erbium:YAG laser and microdermabrasion: a comparison with iontophoresis and electroporation // Br. J. Dermatol. 2004. 151. (1). 132–140.

7. *Huzaira M., Anderson R.R*. Magnetite tattoos // Lasers Surg Med. 2002. 31. (2). 121–128.

8. *Larina I.V., Evers B.M., Ashitkov T.V., Bartels C., Larin K.V., Esenaliev R.O*. Enhancement of drug delivery in tumors by using interaction of nanoparticles with ultrasound radiation // Technol. Cancer Res. Treat. 2005. 4. (2). 217–226.

9. *Mann R., Klingmuller G*. Electron-microscopic investigation of tattoos in rabbit skin // Arch. Dermatol. Res. 1981. 271. (4). 367–372.

10. *McNichols R.J., Fox M.A., Gowda A., Tuya S., Bell B., Motamedi M*. Temporary dermal scatter reduction: quantitative assessment and implications for improved laser tattoo removal // Lasers Surg. Med. 2005. 36. (4). 289–296.

11. *Stumpp O.F., Welch A.J., Milner T.E., Neev J*. Enhancement of transepidermal skin clearing agent delivery using a 980 nm diode laser // Lasers Surg. Med. 2005. 37. (4). 278–285.

12. *Timko A.L., Miller C.H., Johnson F.B., Ross E*. *In vitro* quantitative chemical analysis of tattoo pigments // Arch. Dermatol. 2001. 137. (2). 143-147.

13. *Tuchin V.V., Altshuler G.B., Gavrilova A.A., Pravdin A.B., Tabatadze D., Childs J., Yaroslavsky I.V*. Optical clearing of skin using flash lamp-induced enhancement of epidermal permeability // Lasers Surg. Med. 2006. 38. (9). 824–836.

APPLICATION OF PHYSICAL FACTORS TO REDUCE THE BARRIER FUNCTION OF EPIDERMIS FOR LASER RADIATION

Alexey Stanislavovich MUKHIN[1], Evgeniy Anatolyevich LEONTYEV[2]

[1] *Privolzhsky Research Medical University of Minzdrav of Russia*
603005, Nizhny Novgorod, Minina i Pozharskogo av., 10/1

[2] *City Clinical Hospital No. 1 of Minzdrav of Chuvashia*
428028, Cheboksary, Traktorostroitelei av., 46

The purpose of the study is to determine the optimal technique for reducing the barrier function of skin epidermis to increase the laser radiation penetrating depth into tissues. **Material and methods.** The experiments were carried out with full-layer human skin samples obtained after surgical intervention. The source of laser radiation was placed on one side of the irradiated tissue and glass fiber was introduced coaxially with it on the other side to determine the depth of penetration of laser radiation into biological tissues. The radiation receiver was a photoelectric multiplier. The density of the light flux changed together with the change in the position of the fiber in the array of tissues., The depth of radiation penetration into the irradiated sample was determined after constructing the radiation intensity curve. The study of native preparations of human skin was carried out before and after exposure to physical factors. Methods of microdermabrasion, laser ablation of skin surface layers, ionophoresis and ultrasound were used to conduct the study in order to reduce the barrier function of skin epidermis. After these methods exposure, the depth of penetration of laser radiation into the tissue was measured during laser radiation with wavelengths of 532 and 1064 nm. **Results and discussion.** It has been established that microdermabrasion and laser ablation of epidermis stratum corneum reduced the absorption of laser radiation at the depth of up to 2.5 mm resulting in significant reducing the laser radiation power.

Key words: tattoo, tattoo pigment, tattoo removal, dermabrasion, laser therapy.

Mukhin A.S. *– doctor of medical sciences, professor, head of the surgery department*
Leontyev E.A. *– candidate of medical sciences, e-mail: lea737@yandex.ru*