

Doi: 10.52341/20738080_2025_136_3_45

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ СПОНТАННОЙ СМЕШАННОЙ ИМПРЕГНАЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ВЗРЫВНОЙ ТРАВМОЙ



КРУГЛОВА Л.С.,

д.м.н., профессор, ректор
ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, kruglovals@mail.ru



ИКОННИКОВА Е.В.,

д.м.н., доцент, профессор кафедры дерматовенерологии и косметологии ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента Российской Федерации, врач-косметолог АО «Институт пластической хирургии и косметологии», г. Москва, evikonnikova@bk.ru



ФРОЛОВИЧЕВА М.В.,

заведующая кожно-венерологическим отделением филиала № 3 ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – Центральный военный клинический госпиталь имени А.А. Вишневского» Минобороны России, marrssi@mail.ru

Представлен клинический случай применения селективной лазерной терапии для коррекции спонтанной смешанной импрегнации, а также проведен анализ её клинической эффективности.

Ключевые слова: травматическая татуировка, взрывные татуировки, импрегнация, александритовый лазер.

CLINICAL CASE OF THE USE OF SELECTIVE LASER THERAPY OF SPONTANEOUS MIXED IMPREGNATION CAUSED BY BLAST TRAUMA

Kruglova L., Ikonnikova E., Frolovicheva M.

Clinical case of the use of selective laser therapy for correction of spontaneous mixed impregnation is presented and its clinical efficiency is analyzed.

Key words: traumatic tattoo, blast tattoos, impregnation, alexandrite laser.

Введение

В настоящее время такой тип травм, как спонтанные смешанные импрегнации, чаще всего связан с последствиями минно-взрывного ранения, в результате которого в кожу попадают частицы пороха, стекла, угля, саж, краски, асфальтовой пыли, грунта, а также частицы самого взрывного устройства и т.д. Такое травматическое окрашивание кожи отличается своеобразием, представляя собой типичный перманентный синий или серый оттенок кожи и подлежащих тканей, что приводит к выраженному психологическому дискомфорту пациентов. Кроме того, спонтанные смешанные импрегнации сопровождаются наличием различных рубцовых изменений с их пропитыванием пигментом.

Поскольку травматические татуировки (при возросшем уровне военного травматизма) возникают в результате спонтанного проникновения в дерму инородного материала, то этот материал может отличаться значительным разнообразием не только характера частиц, но и их размеров. Они имеют определенный монохромный оттенок и остаются нежелательным напоминанием о травмирующем событии, имея вид татуировки. Отсюда и название – «травматическая татуировка».

Профессиональные татуировки являются следствием преднамеренного внесения в дерму чернил или других пигментированных веществ, обладающих цветовым разнообразием. Многие из этих пигментов включают медь, ртуть, хром, кобальт, железо и титан. Любительские татуировки обычно представляют

собой дермальную имплантацию пигмента на основе углерода.

До изобретения лазеров татуировки удалялись методами, сопровождавшимися выраженной механической травматизацией, что часто приводило к нежелательным последствиям в виде рубцов. Такие методы предполагали разрушение поверхностных слоев кожи – в основном механическим или химическим способом. Трансэпидермальное выведение пигмента происходило через образованный раневой дефект вместе с экссудатом, что помогало пигменту татуировки мигрировать к поверхности раны и впитываться в повязку.



**Леон
ГОЛДМАН
(1906–1997)**

В 1963 г. Л. Голдман (американский дерматолог и пионер в области лазерной медицины, занимался в том числе применением лазеров в дерматологии) опубликовал с соавторами первое исследование о воздействии лазеров на кожу, описывающее избирательное разрушение рубиновым лазером пигментированных структур кожи, включая

волосные фолликулы. Ученые отметили высокоселективное повреждение пигментированных структур без заметных изменений на светлой коже. В дальнейшем Л. Голдман опубликовал статью об экспериментальной терапии невусов, меланомы и татуировок с помощью импульсного рубинового лазера: «Самые поразительные результаты были получены при удалении татуировок, особенно с помощью Q-switched-лазера» (лазеры с модуляцией добротности) [1].

С тех пор, особенно с развитием современных лазерных технологий, ультракороткие наносекундные (нс) или пикосекундные (пс) импульсы Q-switched-лазеров способны избирательно взаимодействовать с внутридермальными пигментными частицами в соответствии с общепринятой теорией селективного фототермолиза, что приводит к сверхограниченному фототермо-фотоакустическому разрушению пигментов, поглощающих определенные длины волн с минимальным сопутствующим повреждением тканей. Благодаря этому высокоспецифичному воздействию восстановление тканей происходит в достаточно короткие сроки, а возможные осложнения и побочные эффекты значительно снижаются при правильном выборе параметров лазерного воздействия [2].

В соответствии с принципом селективного фототермолиза оптимальная длина волны обеспечивает селективное поглощение лазерной энергии импегнирующими частицами,

сводя к минимуму это поглощение первичными эндогенными хромофорами, гемоглобином и меланином.

Частицы на основе углерода и чёрный пигмент поглощают свет всех длин волн (обладая минимальным коэффициентом отражения), а конкуренция со стороны меланина, находящегося в эпидермисе, постепенно уменьшается по мере увеличения длины волны лазера [3].

Разрушенные частицы экзогенного пигмента, локализованные в лизосомах резидентных дермальных макрофагов, высвобождаются во внеклеточное пространство и фагоцитируются с последующим переносом через лимфатическую систему и выведением с током лимфы из организма. Кроме того, в течение нескольких недель после лечения сохраняется воспалительная реакция, приводящая к фагоцитозу макрофагами остаточного внеклеточного пигмента татуировки, что дополнительно способствует осветлению очагов импегнации [4, 5].

Наиболее часто для удаления травматических татуировок в качестве оптимальной терапии используются лазер Q-switched ND:YAG с длиной волны 1064 нм и александритовый лазер с длиной волны 755 нм, так как эти длины волн селективно воздействуют на чёрный, синий и зелёный пигменты. Длина волны определяет энергию фотонов, а продолжительность импульса определяет время, в течение которого лазер передаёт энергию тканям. Время тепловой релаксации – это время, необходимое для того, чтобы нагретая ткань уменьшила поглощённую энергию на 50% за счёт тепловой диффузии. При продолжительности импульса, превышающей время тепловой релаксации, ткань подвергается специфическому термическому повреждению. Однако при работе с Q-switched-лазерами общая частота побочных реакций при удалении татуировок, по данным M. Zhang et al., составляет приблизительно 24,06%, включая пигментацию, гипопигментацию, образование булл, аллергические реакции, изменение текстуры кожи, гипертрофические рубцы [6].

Риск чрезмерного повреждения кожи увеличивается, когда инородные частицы (углерод или порошок), особенно при высокой плотности импегнации, взрываются под воздействием высокоэнергетического лазера, что может привести к множественным внутритканевым микровзрывам. Следствием этого становится формирование новых рубцов из-за вторичного повреждения кожи.

Обработка травматических татуировок, предположительно содержащих порошок или

остатки фейерверков, должна проводиться с осторожностью. Необходимо провести тест на небольшом участке кожи. Если над этим участком возникает аномальная реакция с искрением и появлением трансэпидермальных изъязвлений, то следует отдать предпочтение другим методам терапии. Этот неблагоприятный эффект появляется при поражениях с близкого расстояния [7], в связи с чем необходимо тщательно собирать анамнестические данные пациента для уточнения специфики характера травмы.

Развитие лазерных технологий позволило обрабатывать импрегнацию в пикосекундном диапазоне. Пикосекундные лазеры обеспечивают длительность импульса от 300 до 900 пс [7]. Еще в 1998 г. V. Ross *et al.* было проведено сравнительное исследование эффективности удаления татуировок с помощью пикосекундного и наносекундного лазера Q-switched ND:YAG, которое продемонстрировало более высокую эффективность пикосекундных импульсов при удалении черных татуировок [8]. В 2012 г. FDA одобрило первый пикосекундный лазер для удаления татуировок и пигментации [9].

Применение пикосекундных лазеров представляет более безопасным из-за меньшей травматичности воздействия, что сопровождается более коротким восстановительным периодом. Предупреждение избыточного повреждения кожи может быть объяснено самим механизмом воздействия лазера на ткани. Высокая энергия лазера воздействует на пигмент и поглощается в пределах эпидермальной очаговой зоны. В этой области образуются внутри-эпидермальные полости из-за лазерно-индуцированного оптического пробоя (LIOB), который представляет собой локализованное образование плазмы в эпидермисе, инициированное поглощением энергии пикосекундного импульса пигментом. Высокая плотность потока энергии в этих зонах приводит к возбуждению локальных электронов, что далее приводит к каскадной активации близлежащих электронов. Это явление называется «электронным лавинным пробоем». Как только возникает LIOB, он поглощает большую часть последующего поступающего лазерного излучения. Обычно высокоинтенсивное излучение с длиной волны 755 нм распространяется до дермо-эпидермального соединения и дермы. Однако формирование LIOB приводит к локализованному и поверхностному поглощению избыточного лазерного излучения. Таким образом, оно не достигает дермо-эпидермального соединения, сводя к минимуму сопутствующие повреждения.

Также была выдвинута гипотеза, что энергия, поглощаемая LIOB, эффективно преобразуется в волны давления, распространяющиеся в дерму. Такая баротравма может привести к изменениям в дерме, следствием чего станет улучшение качества кожи [10].

Помимо этого было высказано предположение, что волны давления вызывают временный период повышенной проницаемости клеточных мембран, который может влиять на передачу сигналов клетками и приводить к каскаду цитокинов [11]. Какой из этих эффектов преобладает (баротравма или передача сигналов клетками), можно будет сказать после дальнейшего исследования.

Таким образом есть основания предполагать, что фракционный пикосекундный лазер при работе с взрывной татуировкой, кроме депигментирующего эффекта, способен стимулировать регенерацию кожи, ремоделирование дермы и положительно влиять на состояние атрофических рубцов.

Количество сеансов терапии пикосекундным александритовым лазером предсказать сложно. Оно варьируется в широких пределах в зависимости от многих факторов, основными из которых являются степень импрегнации, ее характер, глубина залегания частиц, давность травмы, наличие или отсутствие рубцовых изменений, комплаентность пациента. Поскольку татуировка светлеет при последующих обработках, поток энергии может стать более плотным из-за меньшей доступности хромофоров для поглощения энергии лазера.

Первые сеансы терапии зачастую не дают ощутимого результата, по сравнению с последующими, но при этом нередко становится заметным осветление участков кожи с импрегнацией после воздействия на экзогенные частицы пигмента, если они лежат более поверхностно и диффузно. Чем поверхностнее расположен пигмент и чем меньше его объем, тем меньше сеансов потребуется для его удаления. И наоборот.

Современные лазерные технологии позволяют даже в короткие сроки добиться значительного осветления очагов импрегнации.

Примером может служить следующий клинический случай *спонтанной смешанной импрегнации*.

Клинический пример

Пациент Н., 31 год, обратился с жалобами на выраженные посттравматические изменения кожи лица и шеи в виде диффузного изменения цвета кожных покровов (темно-синий и черный оттенки), множественные посттравматические и послеоперационные рубцовые деформации с ярко выра-



Рис. 1.



Рис. 2.



Рис. 3.

Рис. 1. Импрегнация на коже пациента Н. до терапии.

Рис. 2. Вид участка кожи пациента Н. сразу после первичной лазерной обработки.

Рис. 3. Вид участка кожи пациента Н. после повторной лазерной обработки (через 2 мес. после первого сеанса терапии).

женной импрегнацией (рис. 1). Субъективно отмечал гиперчувствительность, болезненность в очагах. Давность травмы – 2 мес.

При осмотре: кожа – со следами осаднения, пропитана пороховыми газами, черного и темно-синего цвета. Множественные рубцы – насыщенно розового цвета с тенденцией к формированию как атрофических, так и нормотрофических рубцов.

Терапия: в связи с высокой скоростью обработки и удовлетворительной переносимостью процедуры больному Н. провели только аппликационную анестезию, несмотря на выраженную посттравматическую гиперчувствительность кожи. Время экспозиции составило 50 мин., после чего была проведена лазерная терапия на многофункциональном аппарате Picosure 755 нм SynoSure (США) – всего два сеанса с интервалом 2 мес. Количество процедур ограничили из-за отбытия Н. к месту жительства. Параметры лазера: длина волны – 755 нм, размер пятна – 3,2–3,4 мм, частота импульсов – 5–10 Гц, макси-

мальная энергия – 2,20 Дж/см², один проход. Параметры варьировались в указанных пределах в зависимости от характеристик обрабатываемого участка ткани и ее реакции. После обработки в области участков импрегнации наблюдался фрист-эффект, сменившийся выраженной перифокальной гиперемией (рис. 2, 3).

Сразу после процедуры больному Н. нанесли наружное средство, улучшающее регенерацию тканей за счет содержания эпидермального фактора роста человеческого рекомбинантного (рчЭФР). Такую наружную обработку проводили 2 раза в сутки в течение 3–5 дней. Реабилитация после процедуры прошла без особенностей. Через 30 дней после терапии была отмечена частичная редукция участков импрегнации (рис. 4), а через 5 мес. после 2 сеансов терапии – значительная редукция импрегнации (рис. 5).

До и после терапии для оценки эффективности однократного лазерного воздействия и изучения изменения пигмента была проведена панч-биопсия участков импрегнации с последующим гистологическим исследованием (рис. 6, 7 на с. 49), которое показало выраженное сокращение плотности пигмента и высокую степень его дисперсии, что подтвердило эффективность выбранного метода лечения.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно отметить эффективность применения пикосекундного александритового лазера (755 нм) для терапии



Рис. 4.



Рис. 5.

Рис. 4. Вид участка кожи пациента Н. через 10 дней после однократно проведенной процедуры лазерной терапии.

Рис. 5. Вид участка кожи пациента Н. через 5 мес. после двух сеансов терапии (в область рубца однократно введен глюкокортикостероид).

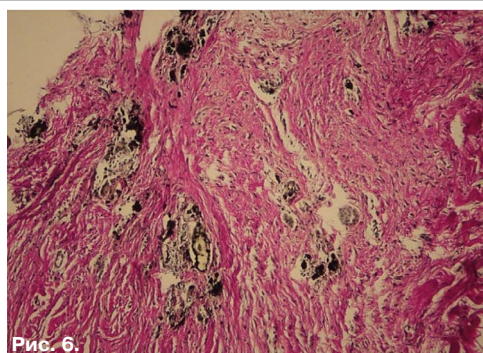


Рис. 6.

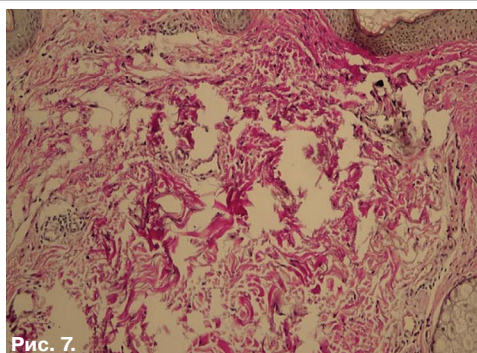


Рис. 7.

Рис. 6. Гистологическая картина участка импрегнации до терапии (окраска по Ван-Гизону $\times 10$): сосочковый слой дермы с интерстициальным отеком, новообразованными капиллярами с увеличенными гиперхромными ядрами эндотелиоцитов и скудной лимфоидной инфильтрацией. В сетчатом слое дермы на глубине от 150 мкм и более – скопление гистиоцитов с тинкториальными признаками макрофагальной активности в виде накопления в цитоплазме пигмента черного цвета (средний размер частицы – 18,5 мкм).

Рис. 7. Гистологическая картина участка импрегнации через 5 мес. после терапии (окраска по Ван-Гизону $\times 10$): многослойный плоский ороговевающий эпителий типичного строения, слои эпителиального пласта сохранены. Сосочковый слой дермы – с частицами пигмента в интерстиции, единичными лимфоцитами и капиллярами с гиперхромными ядрами эндотелиоцитов. В сетчатом слое дермы активированные гистиоциты с тинкториальными признаками активности не определяются. Волокна коллагена – без признаков патологической гипертрофии.

спонтанной смешанной импрегнации. Данный вид воздействия характеризуется коротким реабилитационным периодом (2–5 дней), чему дополнительно способствует применение топического регенеранта с рчЭФР, который представляет собой высокоочищенный пептид, идентичный эндогенному эпидермальному фактору ро-

ста, вырабатываемому в организме [12].

Представленный клинический случай подтверждает данные литературных источников, что лазерная терапия в пикосекундном диапазоне может являться стандартом для удаления татуировок, в том числе импрегнации. Однако необходимо проведение дальнейших исследований в этой области.

Литература

1. Geiges M.L. History of lasers in dermatology // *Curr Probl Dermatol.* – 2011; 42:1–6. Doi: 10.1159/000328225
2. Marini L., Marini S., Cutlan J., Hreljac I. Q-S laser micro-drilling and multipass full-beam Q-S laser for tattoo removal – a case series // *Lasers Med Sci.* – 2022; 37(3):1763–1771. Doi: 10.1007/s10103-021-03431-w
3. Kilmer S.L., Garden J.M. Laser treatment of pigmented lesions and tattoos // *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery.* – 2000; 19(4): 232–244. Doi: 10.1053/sder.2000.18363
4. Henley J.K., Zurfley F., Ramsey M.L. Laser Tattoo Removal. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. – 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442007>
5. Pincelli G., Sena M.M., Pavani C. Nd:YAG Laser Tattoo Removal in Individuals With Skin Phototypes IV–VI: A Case Series // *J Lasers Med Sci.* – 2022; 13:e79. Doi: 10.34172/jlms.2022
6. Zhang M., Gong X., Lin T., Wu Q., Ge Y., Huang Y., Ge L. A retrospective analysis of the influencing factors and complications of Q-switched lasers in tattoo removal in China // *J Cosmet Laser Ther.* – 2018; 20(2):71–76. Doi: 10.1080/14764172.2017.1376096
7. Fusade T., Toubel G., Grogard C., Mazer J.M. Treatment of gunpowder traumatic tattoo by Q-switched Nd:YAG laser: an unusual adverse effect // *Dermatol Surg.* – 2000; 26(11):1057–9. Doi: 10.1046/j.1524-4725.2000.0260111057.x
8. Ross V., Naseef G., Lin G., Kelly M., Michaud N., Flotte T.J. et al. Comparison of responses of tattoos to picosecond and nanosecond Q-switched neodymium: YAG lasers // *Arch Dermatol.* – 1998; 134(2):167–71. Doi: 10.1001/archderm.134.2.167
9. Mehrabi J.N., Friedman O., Al-Niaimi F., Artzi O. Retrospective photographic review of nontattoo indications treated by picosecond laser // *J Cosmet Dermatol.* – 2020; 19(3):612–621. Doi: 10.1111/jocd.13285
10. Haimovic A., Brauer J.A., Cindy Bae Y.S., Geronemus R.G. Safety of a picosecond laser with diffractive lens array (DLA) in the treatment of Fitzpatrick skin types IV to VI: A retrospective review // *J Am Acad Dermatol.* – 2016; 74(5):931–6. Doi: 10.1016/j.jaad.2015.12.010
11. Tanghetti E. Characterization of the histologic changes in the skin from the treatment with the 755nm picosecond alexandrite laser // *Lasers Surg Med.* – 2015; 47(26):24.
12. Официальная инструкция по медицинскому применению препарата Эбермин. https://medi.ru/instrukciya/ebermin_9273