

УДК 616.5-003.656.6-03-092.9:615.849.19

**ВЛИЯНИЕ ПЕРФТОРДЕКАЛИНОВОЙ ЭМУЛЬСИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
УДАЛЕНИЯ ТАТУИРОВОК ПИКОСЕКУНДНЫМ И Q-ПЕРЕКЛЮЧАЕНЫМ
ЛАЗЕРАМИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)****¹Преображенский Д. А. ORCID ID 0009-0003-4897-5405,****¹Федотова А. Г. ORCID ID 0009-0000-6703-4035,****¹Леонтьев Е. А. ORCID ID 0000-0002-7406-2074,****¹Елдырёва М. В. ORCID ID 0000-0003-2076-9477,****¹Котёлкина А. А. ORCID ID 0000-0001-5366-5135,****²Долаков И. Г. ORCID ID 0009-0000-7380-1894,****¹Залов С. А. ORCID ID 0009-0000-9108-8949**

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова», Чебоксары, Российская Федерация, e-mail: lea737@yandex.ru;

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ингушский государственный университет», Магас, Российская Федерация

Феномен побеления кожи, возникающий при лазерном воздействии на татуировки, ограничивает возможность проведения нескольких проходов за один сеанс. Применение перфтордекалина может нивелировать данный эффект. Цель исследования. Оценить влияние эмульсии на основе перфтордекалина (ПФД) на безопасность и эффективность удаления экспериментальных татуировок у крыс с использованием пикосекундного и Q-переключаемого лазера. Эксперимент выполнен на 30 половозрелых крысах-самцах линии Wistar массой 250–300 г. Животным в область спины наносили стандартизированные татуировки черным пигментом на основе углерода. Через 4 недели крысы были рандомизированы в 3 группы (по 10 особей в каждой): 1-я группа - удаление татуировки Q-переключаемым лазером (1064 нм) с нанесением перфтордекалин-эмульсии; 2-я группа - Q-переключаемым лазером без перфтордекалина; 3-я группа - пикосекундным лазером (1064 нм) с нанесением перфтордекалин-эмульсии. Оценивали динамику осветления пигмента (по 5-балльной шкале), количество сеансов до полного удаления, наличие побочных эффектов (эритема, отек, рубцы, дискромия). Животных выводили из эксперимента через 3 месяца путем передозировки анестетика. Применение перфтордекалин-эмульсии позволило выполнять 2–3 прохода за сеанс у 90% крыс в 1-й и 3-й группах. Во 2-й группе многопроходные сеансы были невозможны из-за стойкого побеления. Среднее количество сеансов до полного удаления составило 2,2±0,4 в 1-й группе, 2,0±0,3 – в 3-й группе и 5,1±0,7 – во 2-й (p<0,05). Используемая плотность энергии была на 40–50% выше в группах с перфтордекалином. Побочных эффектов (рубцов, стойкой гипопигментации) не зафиксировано ни в одной из групп. Отмечалась транзиторная эритема в течение 24–48 часов. Применение перфтордекалина-эмульсии при лазерном удалении татуировок у крыс безопасно, позволяет интенсифицировать режим лечения (увеличить количество проходов и энергию) и сократить общее количество сеансов в 2–2,5 раза.

Ключевые слова: перфтордекалин, лазерное удаление татуировок, Q-переключаемый лазер, пикосекундный лазер, экспериментальная модель, крысы Wistar.

**INFLUENCE OF PERFLUORODECALIN EMULSION ON THE EFFICIENCY OF
TATTOO REMOVAL USING PICOSECOND AND Q-SWITCHED LASERS
(EXPERIMENTAL STUDY)****¹Preobrazhensky D.A. ORCID ID 0009-0003-4897-5405,****¹Fedotova A.G. ORCID ID 0009-0000-6703-4035,****¹Leontyev E.A. ORCID ID 0000-0002-7406-2074,****¹Eldyryova M.V. ORCID ID 0000-0003-2076-9477,****¹Kotelkina A.A. ORCID ID 0000-0001-5366-5135,****²Dolakov I.G. ORCID ID 0009-0000-7380-1894,****¹Zalov S.A. ORCID ID 0009-0000-9108-8949**

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Chuvash State University named after I. N. Ulyanov", Cheboksary, Russian Federation, e-mail: lea737@yandex.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ingush State University", Magas, Russian Federation

The skin-whitening phenomenon that occurs during laser tattoo removal limits the possibility of performing multiple passes in a single session. The use of perfluorodecalin may neutralize this effect. **Objective.** To evaluate the effect of a perfluorodecalin-based emulsion on the safety and efficacy of experimental tattoo removal in rats using picosecond and Q-switched lasers. The experiment was performed on 30 mature male Wistar rats weighing 250–300 g. Standardized black carbon-based tattoos were applied to the dorsal region of the animals. After 4 weeks, the rats were randomized into 3 groups (n=10): Group 1 - Q-switched laser (1064 nm) with perfluorodecalin emulsion; Group 2 - Q-switched laser without perfluorodecalin; Group 3 - picosecond laser (1064 nm) with perfluorodecalin emulsion. The dynamics of pigment lightening (5-point scale), number of sessions until complete removal, and side effects (erythema, edema, scarring, dyschromia) were assessed. Animals were euthanized 3 months after the last session by anesthetic overdose. The use of perfluorodecalin emulsion allowed 2–3 passes per session in 90% of rats in Groups 1 and 3. In Group 2, multiple passes were impossible due to persistent whitening. The average number of sessions until complete removal was 2.2 ± 0.4 in Group 1, 2.0 ± 0.3 in Group 3, and 5.1 ± 0.7 in Group 2 ($p < 0.05$). The fluence used was 40–50% higher in the perfluorodecalin groups. No significant side effects (scarring, persistent hypopigmentation) were recorded in any group. Transient erythema lasting 24–48 hours was observed. The use of perfluorodecalin emulsion in laser tattoo removal in rats is safe, allows intensification of the treatment regimen (increasing the number of passes and energy), and reduces the total number of sessions by 2–2.5 times.

Keywords: perfluorodecalin, laser tattoo removal, Q-switched laser, picosecond laser, experimental model, Wistar rats.

Введение

Лазерное удаление татуировок является одним из наиболее востребованных методов коррекции в косметологической практике [1; 2]. Стандартный протокол лечения предполагает выполнение одного прохода лазером с последующим интервалом в 6–8 недель, что обусловлено необходимостью фагоцитоза фрагментированных частиц пигмента и заживления кожи. В среднем для полного удаления татуировки требуется от 7 до 12 сеансов, что делает процесс длительным и сопряженным со значительными временными затратами для пациента [3]. Основным физическим ограничением для проведения нескольких проходов в рамках одного сеанса является феномен немедленного побеления кожи (так называемый whitening-эффект). Механизм данного явления заключается в том, что при воздействии высокоинтенсивного лазерного импульса на частицы пигмента происходит их сверхбыстрый нагрев с образованием вокруг них микропузырьков водяного пара. Скопление таких пузырьков в дерме придает коже характерный белый оттенок. Образовавшийся слой эффективно рассеивает лазерное излучение, делая последующие импульсы неспособными достичь глубже лежащих слоев пигмента [4; 5]. Существующий метод R20, предполагающий 20-минутное ожидание между проходами до спонтанного исчезновения побеления, позволяет проводить до 3–4 проходов за визит, однако существенно увеличивает время процедуры и, по некоторым данным, может повышать риск термического повреждения кожи [6]. Перспективным решением данной проблемы является применение перфтордекалина (ПФД) - прозрачной инертной жидкости, обладающей уникальной способностью растворять газы (в том числе кислород и углекислый газ). При нанесении на зону лазерного воздействия ПФД

быстро абсорбирует газ из микропузырьков, что приводит к исчезновению побеления в течение 5–15 секунд. Кроме того, ПФД действует как оптический просветлитель: его показатель преломления ($n=1,33$) близок к показателю преломления эпидермиса, что снижает рассеивание света на поверхности и улучшает его проникновение в дерму. Также ПФД обладает высокой теплоемкостью, что позволяет ему выполнять функцию теплоотвода, защищая окружающие ткани от перегрева [7; 8]. Ряд предварительных исследований на экспериментальных моделях продемонстрировал, что применение ПФД ускоряет удаление татуировок [9]. Однако большинство работ выполнены на малых выборках либо без адекватной контрольной группы.

Цель настоящего исследования - в контролируемом эксперименте на крысах оценить влияние эмульсии на основе перфтордекалина на безопасность и эффективность удаления экспериментальных татуировок с использованием пикосекундного и Q-переключаемого лазеров.

Материалы и методы исследования

Экспериментальное контролируемое исследование с рандомизацией на три параллельные группы. Эксперимент выполнен на 30 половозрелых крысах-самцах линии Wistar массой 250–300 г. Животные получены из питомника ФГБУН «Научный центр биомедицинских технологий ФМБА» (филиал «Столбовая»). Все манипуляции проводили в соответствии с правилами лабораторной практики (Приказ Минздрава РФ № 199н от 01.04.2016) и принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18.03.1986). Протокол исследования одобрен этическим комитетом ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова». Животных содержали в стандартных условиях вивария (температура 22–24 °С, влажность 50–60%, световой цикл 12/12 часов) со свободным доступом к воде и гранулированному корму. После завершения эксперимента (через 3 месяца после последнего лазерного сеанса) животных выводили из эксперимента путем передозировки тиопентала натрия (100 мг/кг массы тела, внутривенно).

За 4 недели до начала лазерного лечения всем животным под внутривенным наркозом (тиопентал натрия 40 мг/кг) в область спины (паравертебрально, на уровне груднопоясничного отдела) наносили татуировки стандартизированного размера 1,5×1,5 см. Использовали профессиональный тату-аппарат с одноразовыми иглами и черный пигмент на основе аморфного углерода (Carbon Black, CI 77266). Пигмент вводили внутридермально на глубину 1–1,5 мм. Четырехнедельный интервал до начала лазерного лечения необходим для стабилизации пигмента в дерме, завершения острой воспалительной реакции и эпителизации [10].

Группы и протокол лечения. Методом случайных чисел животные были разделены на 3 группы по 10 особей в каждой:

- группа 1 (Q-ПФД): лечение с использованием Q-переключаемого лазера с предварительным нанесением ПФД-эмульсии;
- группа 2 (Q-контроль): лечение с использованием Q-переключаемого лазера без применения ПФД (контрольная группа);
- группа 3 (Пико-ПФД): лечение с использованием пикосекундного лазера с предварительным нанесением ПФД-эмульсии.

За 10 минут до лазерного воздействия проводили местную анестезию путем инфильтрации области татуировки 0,25%-ным раствором лидокаина (объем 0,3–0,5 мл). В группах 1 и 3 непосредственно перед каждым лазерным импульсом на кожу обильно наносили ПФД-эмульсию с помощью поролонового аппликатора. В группе 2 лазерное воздействие проводили на сухую кожу.

Использовали два типа лазерных установок:

1. Q-переключаемый Nd:YAG-лазер (длина волны 1064 нм, длительность импульса 5–7 нс, частота 2 Гц, размер пятна 4 мм).
2. Пикосекундный Nd:YAG-лазер (длина волны 1064 нм, длительность импульса 450 пс, частота 2 Гц, размер пятна 4 мм).

Начальная плотность энергии (флюенс) составляла 2,0 Дж/см². В каждой последующей процедуре флюенс увеличивали на 0,5–1,0 Дж/см² до появления клинически значимого побеления (в группах 1 и 3 ориентиром служило появление побеления после первого импульса, в группе 2 - порог появления побеления являлся максимальным). Критерием для выполнения второго прохода в рамках одного сеанса в группах 1 и 3 служило полное исчезновение побеления после нанесения ПФД (оценивали визуально через 15 секунд). В группе 2 второй проход не выполняли. Интервал между сеансами составлял 4 недели. Лечение продолжали до достижения полного визуального исчезновения пигмента, но не более 8 сеансов.

Эффективность оценивали по следующим критериям:

- степень осветления татуировки по 5-балльной шкале: 0 - нет изменений, 1 - осветление <25%, 2 - 25–50%, 3 - 50–75%, 4 - >75%, 5 - полное исчезновение пигмента. Оценку проводили визуально двумя независимыми исследователями перед каждым сеансом и через 4 недели после завершения лечения;
- количество сеансов, потребовавшееся для полного удаления татуировки;
- максимальная достигнутая плотность энергии (Дж/см²) за весь курс лечения;
- возможность выполнения многопроходного сеанса (более одного прохода за визит).

Безопасность оценивали по наличию и выраженности следующих признаков:

- ранние побочные эффекты (через 1 час, 24 часа, 48 часов и 7 дней после сеанса): эритема (0 - отсутствует, 1 - слабая, 2 - умеренная, 3 - выраженная), отек (по аналогичной шкале), наличие пузырей, эрозий, корочек;

- отсроченные побочные эффекты (через 4 недели после каждого сеанса и через 3 месяца после окончания лечения): гиперпигментация, гипопигментация, рубцовые изменения, изменение текстуры кожи.

Статистический анализ. Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета программ StatTech v. 4.1.2 (ООО «Статтех», РФ). Количественные данные проверяли на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро – Уилка. Данные с нормальным распределением представлены как среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm SD$), с распределением, отличным от нормального - как медиана (Me) и межквартильный размах ($Q1; Q3$). Для сравнения трех групп по количественным данным использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с пост-хок тестом Тьюки (для нормальных распределений) или критерий Краскела – Уоллиса (для ненормальных). Для сравнения качественных переменных использовали критерий χ^2 Пирсона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Все 30 животных успешно завершили исследование. Переносимость процедур была удовлетворительной во всех группах; признаков болевого синдрома, требующего дополнительной анальгезии, не отмечено. В группах, где применяли ПФД-эмульсию (группы 1 и 3), феномен побеления исчезал в течение 10–15 секунд после нанесения препарата. Это позволило выполнять по 2–3 последовательных прохода лазером за один сеанс у 9 из 10 крыс (90%) в каждой из этих групп. В контрольной группе (группа 2) выполнение второго прохода в рамках одного сеанса было признано нецелесообразным из-за стойкого (сохраняющегося более 20 минут) побеления кожи, что подтверждает данные литературы о невозможности эффективной доставки энергии повторного импульса сквозь «белый» слой.

Применение ПФД позволило использовать статистически значимо более высокие значения плотности энергии. Средняя максимальная флюенса, достигнутая к завершению курса лечения, составила:

- группа 1 (Q-ПФД): $8,8 \pm 1,1$ Дж/см²;

- группа 2 (Q-контроль): $5,9 \pm 0,8$ Дж/см² ($p < 0,001$ по сравнению с группой 1);

- группа 3 (Пико-ПФД): $9,2 \pm 1,3$ Дж/см² ($p < 0,001$ по сравнению с группой 2, $p > 0,05$ по сравнению с группой 1).

Разница по флюенсу между группами с ПФД и контролем составила в среднем 49–56%, что свидетельствует о значимом защитном и оптическом просветляющем действии ПФД, позволяющем подводить к пигменту большую энергию без повреждения эпидермиса.

Применение ПФД-эмульсии привело к значимому ускорению осветления татуировок. Уже после первого сеанса средний балл осветления в группах с ПФД был в 2–2,5 раза выше, чем в контрольной группе. Полное удаление татуировки (5 баллов) в группах с ПФД достигалось в среднем за 2–2,2 сеанса, тогда как в контрольной группе потребовалось более 5 сеансов. Различия между группами 1 и 3 по скорости удаления не были статистически значимыми, что может указывать на сопоставимую эффективность обоих типов лазеров при использовании ПФД.

Динамика осветления представлена ниже:

- после 1-го сеанса: группа 1 - $2,9 \pm 0,5$ балла; группа 2 - $1,1 \pm 0,4$ балла; группа 3 - $3,1 \pm 0,6$ балла;

- после 2-го сеанса: группа 1 - $4,3 \pm 0,5$ балла; группа 2 - $2,4 \pm 0,5$ балла; группа 3 - $4,5 \pm 0,5$ балла;

- после 3-го сеанса: в группах 1 и 3 у большинства животных (90% и 100% соответственно) достигнуто полное удаление (5 баллов), в группе 2 средний балл составил $3,5 \pm 0,6$.

Количество сеансов, потребовавшееся для полного удаления татуировки (достижения 5 баллов), составило:

- группа 1 (Q-ПФД): $Me = 2,0$ сеанса (Q1–Q3: 2–3);

- группа 2 (Q-контроль): $Me = 5,0$ сеансов (Q1–Q3: 4–6) ($p < 0,001$ по сравнению с группой 1);

- группа 3 (Пико-ПФД): $Me = 2,0$ сеанса (Q1–Q3: 2–2) ($p < 0,001$ по сравнению с группой 2; $p > 0,05$ по сравнению с группой 1).

К 5-му сеансу полное удаление татуировки было зафиксировано у 100% животных в группах 1 и 3 и только у 40% животных в группе 2. К 8-му сеансу в группе 2 полное удаление достигнуто у 90% крыс (у одной крысы сохранялись остаточные следы пигмента, оцененные как 10% от исходного).

При анализе ранних побочных эффектов установлено, что транзиторная эритема и легкий отек возникали у всех животных во всех группах непосредственно после процедуры и расценивались как нормальная реакция на лазерное воздействие. Выраженность эритемы и отека через 24 часа оценивали как слабую (1 балл) у 90% животных и как умеренную (2 балла) у 10%, при этом значимых межгрупповых различий не выявлено ($p > 0,05$). К 48 часам у всех

животных эритема и отек полностью разрешились. Образования пузырей, эрозий или выраженных геморрагических корочек не наблюдалось ни в одном случае.

Анализ отдаленных побочных эффектов через 4 недели и через 3 месяца после завершения курса лечения показал следующее:

- транзиторная поствоспалительная гиперпигментация (слабой степени) отмечена у двух крыс (20%) в группе 1 и у одной крысы (10%) в группе 3. Во всех случаях гиперпигментация разрешилась спонтанно в течение 8–10 недель без какого-либо лечения. В группе 2 гиперпигментация не зафиксирована, что, вероятно, связано с меньшей суммарной энергией воздействия;

- гипопигментации (стойкой) не выявлено ни в одной группе;

- рубцовых изменений, атрофии или гипертрофии кожи не зафиксировано ни у одного животного. При пальпации и визуальном осмотре кожа в зоне бывшей татуировки была эластичной, обычной окраски и текстуры.

Результаты проведенного экспериментального исследования убедительно демонстрируют преимущества применения ПФД-эмульсии при лазерном удалении татуировок. Полученные данные полностью согласуются с заявленными физико-химическими свойствами перфтордекалина: его способностью растворять газы, оптическим просветлением и теплоотведением [7; 8; 11].

Ключевым результатом является возможность проведения многопроходовых сеансов. В группах с ПФД (1 и 3) у 90% животных удалось выполнить по 2–3 прохода за один сеанс, что клинически означает возможность удалить за одно посещение в 2–3 раза больший объем пигмента. В контрольной группе эта возможность отсутствовала полностью. С физической точки зрения, устранение побеления является критическим фактором: ПФД, проникая в микропузырьки и растворяя содержащийся там газ, восстанавливает исходную оптическую прозрачность дермы, делая ее доступной для последующих импульсов [12].

Вторым важным аспектом является возможность использования более высокой плотности энергии. В группах с ПФД средняя максимальная флюенса была почти в 1,5 раза выше, чем в контроле. Это объясняется, во-первых, защитным действием ПФД как теплоотвода (жидкость с высокой теплоемкостью поглощает избыточное тепло, выделяющееся при фрагментации пигмента, защищая коллаген и клетки эпидермиса от коагуляции). Во-вторых, снижение рассеивания света на границе «воздух – эпидермис» за счет иммерсионного эффекта ПФД приводит к тому, что большая доля энергии достигает цели - частиц пигмента в дерме, а не тратится впустую на нагрев поверхностных слоев [8; 13].

Совокупность этих двух факторов (больше проходов и выше энергия) закономерно привела к значимому ускорению очищения кожи от пигмента. Сокращение количества

сеансов в 2–2,5 раза (с 5 до 2) имеет огромное практическое значение, так как напрямую влияет на комплаентность пациента, снижает общую стоимость лечения и уменьшает психологический дискомфорт, связанный с длительным процессом.

Важно отметить, что интенсификация режима лечения (больше проходов, выше энергия) не привела к увеличению частоты или тяжести побочных эффектов. Профиль безопасности во всех трех группах был сопоставим: все наблюдавшиеся реакции (эритема, отек) были транзиторными и не требовали вмешательства. Отсутствие рубцов и стойких дискромий подтверждает, что при использовании ПФД лазерное воздействие остается селективным и не вызывает необратимых повреждений дермы. Это коррелирует с данными зарубежных исследователей, отмечающих, что правильное применение ПФД не только безопасно, но и может снижать риск ожогов за счет охлаждающего эффекта [11; 14].

Сравнение Q-переключаемого и пикосекундного лазеров в группах с ПФД не выявило статистически значимых различий по скорости удаления татуировки (2,0–2,2 сеанса против 5,0 в контроле). Оба типа лазеров продемонстрировали высокую эффективность в сочетании с ПФД. Тенденция к ненамного более быстрому удалению в группе пикосекундного лазера (100% животных достигли полного удаления после 3-го сеанса против 90% в Q-switched группе) может быть связана с более эффективным фрагментированием частиц за счет более высокой пиковой мощности и меньшего термического повреждения окружающих тканей, что согласуется с литературными данными о преимуществах пикосекундных технологий [15].

Ограничения исследования. Настоящая работа имеет ряд ограничений. Во-первых, это экспериментальная модель на крысах. Кожа крыс, хотя и является общепринятой моделью для дерматологических исследований, отличается от человеческой кожи по толщине эпидермиса, количеству волосных фолликулов и архитектонике коллагеновых волокон. Это может влиять на скорость клиренса пигмента и требуемые параметры лазера. Во-вторых, авторы использовали только черный пигмент, являющийся наиболее распространенным, но не единственным. Реакция на ПФД цветных пигментов, имеющих иные физические характеристики, может отличаться. В-третьих, авторы не проводили гистологическую оценку глубины залегания остаточного пигмента и степени фиброза дермы, ограничившись визуальным контролем. В-четвертых, период наблюдения (3 месяца) недостаточен для оценки таких редких, но возможных осложнений, как отсроченное рубцевание.

Выводы

1. Применение эмульсии на основе перфтордекалина при лазерном удалении экспериментальных черных татуировок у крыс является безопасным методом, не увеличивающим риск развития ранних (пузыри, эрозии) и отсроченных (рубцы, стойкие дискромии) побочных эффектов.

2. Использование ПФД-эмульсии позволяет клинически значимо ($p < 0,001$) повысить эффективность процедуры: обеспечивает возможность выполнения нескольких (2–3) проходов лазером за один сеанс, позволяет применять на 50% более высокую плотность энергии и сокращает количество сеансов, необходимых для полного удаления татуировки, в 2–2,5 раза (с 5 до 2 сеансов).

3. Положительный эффект ПФД наблюдается при использовании как с Q-переключаемым, так и с пикосекундным лазерами, что свидетельствует об универсальности метода.

4. Полученные данные обосновывают целесообразность проведения клинических исследований по применению ПФД-эмульсии для оптимизации протоколов лазерного удаления татуировок у человека.

Список литературы

1. Мухин А. С., Леонтьев Е. А. Применение физических факторов с целью снижения барьерной функции эпидермиса для лазерного излучения // Сибирский научный медицинский журнал. 2018. Т. 38. № 4. С. 87-91. DOI: 10.15372/SSMJ20180411. EDN: UWOSGR.
2. Леонтьев Е. А., Игонин Ю. А. Оптимизация лазерной технологии удаления татуажного пигмента // Лазерная медицина. 2020. Т. 24. № 1. С. 39-44. DOI: 10.37895/2071-8004-2020-24-1-39-44. EDN: HDIFFPE.
3. Леонтьев Е. А., Стручко Г. Ю., Козлов В. А., Федоров А. Л., Леонтьева Т. Ю. Зависимость изменения светопоглощения татуажных пигментов от температуры // Лазерная медицина. 2023. Т. 27. № 1. С. 34-38. DOI: 10.37895/2071-8004-2023-27-1-34-38. EDN: CZDAFA.
4. Шептий О. В., Круглова Л. С., Корчажкина Н. Б., Котенко К. В., Яменсков В. В. Механизмы действия различных лазеров и дифференцированные показания к их применению (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2014. № 1. С. 156. DOI: 10.12737/5812. EDN: TJBIPH.
5. Пинсон И. Я., Верхогляд И. В., Кирилюк Т. И. Сравнение однократной обработки рубиновым лазером Q-switched и неодимовым лазером Q-switched Nd:YAG при удалении татуировок синего и чёрного цвета // Российский журнал кожных и венерических болезней. 2023. Т. 26. № 1. С. 79-85. DOI: 10.17816/dv114924. EDN: OWAMED.
6. Шептий, О. В. Выбор лазерного оборудования для частной косметологической практики // Аппаратная косметология. 2017. № 3-4. С. 22-29. EDN: YTKZGN.

7. Корнеева Р. В. Перфторсоединения в инъекционной косметологии: новый подход к коррекции эстетических проблем // Инъекционные методы в косметологии. 2018. № 4. С. 66-74. EDN: YLTINJ.
8. Башкатов А. Н., Генина Э. А., Тучин В. В. Оптические характеристики основных компонент биологических тканей // XIV Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике: Сборник трудов конференции, Самара, 08–12 ноября 2016 года. Самара: Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук. 2016. С. 12-13. EDN: YKPZDR.
9. Карымов О. Н., Калашникова С. А., Мустафаева Н. А., Краюшкин А. И., Довгялло Ю. В. Морфофункциональные изменения кожи на фоне введения экзогенного пигмента // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2025. Т. 22. № 4. С. 115-121. DOI: 10.19163/1994-9480-2025-22-4-115-121. EDN: RWGNZT.
10. Kossida T., Rigopoulos D., Katsambas A., Anderson R.R. Optimal tattoo removal in a single laser session based on the method of repeated exposures // J. Am Acad Dermatol. 2012 Feb;66(2):271-277. DOI: 10.1016/j.jaad.2011.07.024. Epub 2011 Oct 27. PMID: 22036610.
11. Reddy K. K., Brauer J. A., Anolik R., Bernstein L., Brightman L., Hale E., Karen J., Weiss E., Geronemus R. G. Topical perfluorodecalin resolves immediate whitening reactions and allows rapid effective multiple pass treatment of tattoos // Lasers Surg Med. 2013 Feb;45(2):76-80. DOI: 10.1002/lsm.22106. PMID: 23255145.
12. Kiritsi D., Bakirtzi A., Athanasiou I., Damiani G., Stanislawski G., Bayer H. Evaluation of Combined Treatment With Picosecond Laser and Acoustic Shock Wave Therapy for Tattoo Removal: A Prospective Randomized Controlled Trial // JEADV Clinical Practice. 2025. Vol. 4. № 5. P. 1020-1024. DOI: 10.1002/jvc2.70042. EDN: ACBPPS.
13. Hernandez L., Mohsin N., Frech F. S. [et al.] Laser tattoo removal: laser principles and an updated guide for clinicians // Lasers in Medical Science. 2022. Vol. 37. № 6. P. 2581-2587. DOI: 10.1007/s10103-022-03576-2. EDN: KRGURO.
14. Lee J., Lee S. Ju., Kim J., Cho H. K. Therapeutic effect of the R0 method on tattoo removal in Republic of Korea: retrospective clinical study // Medical Lasers. 2023. Vol. 12. № 2. P. 96-101. DOI: 10.25289/ml.23.014. EDN: QRTZIL.
15. E. T., Bi Ch., Liu X., Lin Li., Cao Y. The Effect of an Er: YAG Laser Combined with a 755 nm Picosecond Laser on Tattoo Removal in a Rat Model // Dermatologic Therapy. 2024. Vol. 2024. Art. № 4509910. DOI: 10.1155/2024/4509910. EDN: MTUSUI.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.

