

<https://doi.org/10.25208/0042-4609-2019-95-3-25-33>

Лечение себорейного кератоза лазером на парах меди

Ключарева С. В.^{1*}, Пономарев И. В.², Топчий С. Б.², Пушкарева А. Е.³, Андрусенко Ю. Н.⁴

¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова
Министерства здравоохранения Российской Федерации

195067, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Пискаревский просп., д. 47

² Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский просп., д. 53

³ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики (Университет ИТМО)

197101, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., д. 49

⁴ Клиника «Институт здоровья»

61003, Украина, г. Харьков, пл. Конституции, д. 26

Цель: оценка эффективности и риска побочных эффектов хирургического лечения себорейного кератоза (СК) лазером на парах меди (ЛПМ).

Пациенты и методы. У 3980 пациентов (1214 мужчин и 2766 женщин в возрасте от 20 до 78 лет) проведено лечение СК с помощью ЛПМ (модель «Яхрома-Мед» отечественного производства) с использованием лазерного пера и сканирующей насадки.

Лазерное лечение проводилось без применения анестезии, за один-четыре сеанса. При проведении лечебной процедуры использовали излучение с длинами волн 511 и 578 нм (в соотношении 3:2) средней мощностью 0,6–1,2 Вт при длительности экспозиции в пределах от 0,2 до 0,4 с. Диаметр светового пятна на поверхности кожи составлял 1 мм. Продолжительность катарактального наблюдения составила 24 месяца.

Результаты. Результаты компьютерного моделирования нагрева ткани излучением ЛПМ и другими лазерными системами показывают, что выбор ЛПМ является оптимальным для лечения СК по глубине энерговклада. На основе клинических данных и результатов компьютерного моделирования можно сделать вывод, что режим ЛПМ является наиболее безопасным и эффективным для лечения себорейного кератоза.

Ключевые слова: лазер на парах меди, себорейный кератоз, лечение лазером, селективная фотодеструкция пигментных дефектов кожи

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Для цитирования: Ключарева С. В., Пономарев И. В., Топчий С. Б., Пушкарева А. Е., Андрусенко Ю. Н. Лечение себорейного кератоза лазером на парах меди. Вестник дерматологии и венерологии. 2019;95(3):25–33. <https://doi.org/10.25208/0042-4609-2019-95-3-25-33>



Treatment of seborrheic keratosis with a copper vapour laser

Svetlana V. Klyuchareva^{1,*}, Igor V. Ponomarev², Sergei B. Topchiy², Alexandra E. Pushkareva³, Yury N. Andrusenko⁴

¹ North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Ministry of Health of the Russian Federation Piskarevsky prospect, 47, Saint Petersburg, 195067, Russian Federation

² Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences Leninsky prospekt, 53, Moscow, 119991, Russian Federation

³ Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University) Kronverksky prospect, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

⁴ Clinic "Health Institute" Konstitutsii square, 26, Kharkiv, 61000, Ukraine

Aim: to assess the efficacy and side-effect risk of the surgical treatment of seborrheic keratosis (SK) using a copper vapour laser (CVL).

Patients and methods. 3980 patients (1214 men and 2766 women aged 20 to 78 years) suffering from SK were treated using a CVL (Yakhroma-Med model, Russian producer) equipped with a laser pen and a scanning nozzle. The laser treatment was performed without anaesthesia in one to four sessions. During the treatment procedure, the following radiation parameters were applied: wavelengths ranging from 511 to 578 nm (in the ratio of 3 to 2), an average power of 0.6–1.2 W and an exposure duration ranging from 0.2 to 0.4 s. The diameter of the light spot on the skin surface was 1 mm. The follow-up observation lasted 24 months.

Results. The computer simulation of tissue heating by CVL and other laser systems showed that CVL is an optimal treatment choice for seborrheic keratosis in terms of the energy deposition depth. According to our clinical data and the results of computer simulation, the CVL is established to be the safest and the most effective for seborrheic keratosis treatment.

Keywords: copper vapour laser, seborrheic keratosis, laser treatment, selective photodestruction of skin pigmented lesion defects

Conflict of interest: the authors state that there is no potential conflict of interest requiring disclosure in this article.

For citation: Klyuchareva S. V., Ponomarev I. V., Topchiy S. B., Pushkareva A. E., Andrusenko Yu. N. Treatment of seborrheic keratosis with a copper vapour laser. *Vestnik Dermatologii i Venerologii*. 2019;95(3):25–33. <https://doi.org/10.25208/0042-4609-2019-95-3-25-33>

У многих пациентов на коже встречаются нарушения пигментации: веснушки, возрастные пигментные пятна, кератомы и многие другие доброкачественные пигментные новообразования. Пигментированные дефекты выглядят темными, потому что меланин аномально сконцентрирован в данной области кожи. Некоторые типы пигментации существуют с рождения, но в большинстве случаев появляются с возрастом или в результате чрезмерного воздействия солнца, а также солярия.

Себорейный кератоз (СК) чаще наблюдается у пациентов, которые имеют длительную историю пребывания на солнце, но также может возникать в областях тела, которые не подвергались воздействию солнечных лучей. Большинство людей хотя бы удалить очаги себорейного кератоза, поскольку они портят внешний вид. В случае травмирования очаги СК могут кровоточить. Показанием к лечению СК является желание пациента избавиться от связанных с этими очагами косметических недостатков и предотвращение кровотечения при травмировании поверхности очага.

За прошедшие с момента первого применения в медицине годы лазерные источники света многократно подтвердили свою эффективность в качестве инструмента для коррекции эпидермальной пигментации. Согласно литературе, представленной в Базе PubMed, для лечения СК эффективно используются лазеры видимого диапазона спектра (импульсные лазеры на красителях, александритовый, аргонный, КТР и рубиновый лазеры), длины волн которых соответствуют области высокого поглощения меланина [1, 2]. Имеются сообщения об успешном использовании абляционных Er:YAG- и CO₂-лазеров для лечения СК [3, 4]. В то же время отмечены случаи рубцевания и гипопигментации, связанные с неправильным применением лазеров [5–7].

Наиболее безопасным признан метод лечения, основанный на принципе селективного фототермолиза [8, 9], согласно которому для лечения пигментных дефектов кожи лазерное излучение должно удовлетворять следующим критериям:

- иметь длину волны, соответствующую области высокого поглощения света меланином;
- длительность светового импульса должна быть короче времени термической релаксации (времени, которое требуется для передачи тепла от пигмента-мишени к окружающей ткани) для обеспечения селективности воздействия.

Поскольку время тепловой релаксации меланосомы составляет около 1 микросекунды, для селективного воздействия необходимо использовать длительности лазерных импульсов субмикросекундного и наносекундного диапазона.

Механизм разрушения меланосом лазерным импульсом зависит от пиковой мощности лазерных импульсов. При высокой пиковой мощности лазерного импульса из-за высокого градиента температуры, возникающего при поглощении света пигментом, возникает акустическая ударная волна, которая приводит к селективной по отношению к окружающей ткани фотодеструкции мишени-пигмента.

Параметры излучения лазера на парах меди (ЛПМ) наилучшим образом соответствуют для селективного воздействия на пигментные дефекты кожи [10–13].

Во-первых, длины волн ЛПМ 511 и 578 нм позволяют осуществить нагрев эпидермального пигмента.

Во-вторых, излучение ЛПМ состоит из наносекундных импульсов длительностью 20 нс с частотой повторения 16 000 импульсов в секунду. Поэтому использование лазерного излучения ЛПМ, позволяющего осуществить селективное воздействие на эпидермальный пигмент, для лечения себорейного кератоза представляется актуальным.

Материалы и методы

На кафедре дерматовенерологии СЗГМУ им. И. И. Мечникова и в Отделении лазерной медицины Медицинского центра «Институт здоровья» накоплен клинический опыт использования лазерного аппарата на парах меди (модель «Яхрома-Мед») для лечения СК. За период с 2007 по 2019 год лечение прошли 3980 пациентов (1214 мужчин и 2766 женщин в возрасте от 20 до 78 лет).

Лечение проводилось с помощью ЛПМ (аппарат «Яхрома-Мед» производства Физического института им. П. Н. Лебедева РАН), при соотношении 3:2 мощности на зеленой длине волны 511 к мощности на желтой длине волны 578 нм. Длительность лазерного импульса 20 нс, время экспозиции 0,2–0,4 с, максимальная мощность 0,6–1,2 Вт. Диаметр светового пятна на коже пациента 1 мм. Процедура проводилась без анестезии. В случае использования сканера применялся гексагональный шаблон с максимальным размером сканирования 12 × 12 мм и расстоянием 1 мм между центрами лазерных пятен. Благодаря сканирующей насадке поверхность пигментного новообразования равномерно обрабатывалась лазерными импульсами до изменения цвета кожи (выраженного посерения). Сканирующая насадка позволила сократить время процедуры и повысить равномерность обработки кожи, которая определялась по равномерности посерения пигментного пятна после лазера.

За 2018 год среди 4897 пациентов с эпителиальными опухолями себорейный кератоз как в качестве основной причины обращения, так и в качестве сопутствующей патологии был диагностирован у 438 (8,9 %) больных. Из них в возрасте от 20 до 35 лет — 85 (19,4 %), от 35 до 50 — 126 (28,8 %), старше 50 лет — 227 (51,8 %) больных. Таким образом, практически половина наших пациентов с СК не достигли 50-летнего рубежа. Косвенными признаками продолжительности болезни являлся и характер поражения, а именно: у 384 (87,7 %) пациентов очаги были множественными, у 54 (12,3 %) — единичными.

При изучении преимущественных локализаций поражений очаги кератоза удавалось обнаружить в 38,1 % случаев на голове, включая лицо. В то же время известно, что СК широко распространен на закрытых одеждой участках кожного покрова. По нашим наблюдениям, очаги СК обнаруживались более чем в 40 % случаев на туловище (из них локализация, как правило, на груди (21,5 %) и спине (20,1 %)). Достаточно часто очаги встречались на верхних (11,2 %) и нижних (9,1 %) конечностях. Следовательно, открытые участки кожи оказывались пораженными чаще, нежели защищенные одеждой.

Перед лечением пигментных дефектов кожи крайне важно поставить правильный диагноз. В случае первоначально неправильно диагностированной меланомы

удаление с помощью лазера не только препятствует надлежащей и своевременной терапии, но также может ухудшить прогноз.

Для диагностики СК проводился тщательный сбор анамнеза. Выяснялось время начала заболевания (с рождения, в детстве или позднее), семейный анамнез, влияние таких факторов, как патология внутренних органов, прием медикаментов, воздействие химических и профессиональных агентов, солнечных лучей, ионизирующей радиации. Исследование кожи включало оценку локализации очагов поражений, цвет и очертания пигментного пятна.

Клиническая картина СК часто напоминала другие дерматозы, только результаты гистологического исследования, в абсолютном большинстве случаев представлявшего характерные и достоверные признаки искомой патологии (наличие в препарате мелких базалоидных клеток, роговых клеток, скоплений меланина), позволяли нам окончательно утвердиться в правильности первоначального диагноза.

В большинстве случаев СК удалялся с помощью ЛПМ после 1 сеанса. После процедуры место воздействия обрабатывалось хлоргексидином, затем, после формирования корочек, наносился эпителизирующий гель 2 раза в сутки до отпадения корочки. Все пациенты наблюдались в течение четырех недель после лечения и в течение 24 месяцев для выявления возможных рецидивов. Результат лечения оценивался как отличный при уменьшении выраженности клинического признака в процентном отношении на 75 % и выше от исходного уровня; значительное улучшение (хороший результат лечения — уменьшение выраженности клинического признака в процентном отношении от 50 до 75 % от исходного уровня); умеренное улучшение (удовлетворительный результат лечения — уменьшение выраженности клинического признака в процентном отношении от 25 до 50 % от исходного уровня); отсутствие эффекта (неудовлетворительный результат лечения — уменьшение выраженности клинического признака в процентном отношении менее 25 % от исходного уровня) через 4 недели, и в случае необходимости проводилась повторная обработка.

Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкским протоколом. Во всех случаях было получено информированное согласие на участие в исследова-

нии. У пациентов были получены цифровые изображения области СК на всех этапах лечения.

Результаты

Рассмотрим клинические примеры лечения СК с помощью ЛПМ.

Клинический случай 1

Пациентка Н., 51 год. Обратилась к врачу по поводу образования на коже, расположенного в области переносицы (рис. 1 А, Б).

Из анамнеза. Пигментированное новообразование появилось 5 лет назад и продолжало медленно прогрессировать, что выражалось в увеличении линейных размеров пигментного очага. Локализация — в области носа, новообразование слегка приподнято (на 1 мм). Линейный размер пигментного пятна — 15 мм.

Диагноз: себорейный кератоз.

Назначения. Лечение себорейного кератоза применением лазера на парах меди (ЛПМ).

Лечение. При проведении процедуры средняя мощность ЛПМ (модели «Яхрома-Мед») достигала 1 Вт. Длительность экспозиции — 0,2 с. Диаметр светового пятна на поверхности кожи — 1 мм. Обезболивание не применялось. Лазерной обработке подвергали всю область. Лазерное воздействие выполнялось с помощью сканера по гексагональному шаблону, проводилось несколько проходов. Сразу после процедуры вокруг образования наблюдалось посерение пигмента, выраженного отека не наблюдалось. Корочки формировались на 2-й день, отходили самостоятельно на 5–7-й день, на их месте отмечалась незначительная посттравматическая гиперемия. Через две недели после леченной обработанная область приобретала цвет окружающей кожи.

Результат. Сразу после применения ЛПМ обработанная область приобрела сероватый оттенок, сохранявшийся несколько дней, образовавшиеся корочки отошли самостоятельно через 5–7 дней. Через 2 недели после проведения лазерной процедуры образование полностью исчезло без формирования рубцов.

Клинический случай 2

Пациентка М., 56 лет. Обратилась по поводу удаления пигментированных пятен, сформировавшихся с возрастом (рис. 2А).



А

Б

Рис. 1. Пациентка К., 50 лет, средняя мощность — 0,75 Вт, длительность экспозиции — 0,25 с. Обработка производилась до посерения пигментированной области: А — до лечения; Б — спустя месяц после 1 сеанса терапии ЛПМ (фото предоставлено Юрием Андрусенко, врачом-хирургом клиники «Институт здоровья», Харьков, Украина)
Fig. 1. Patient K., 50 years old, average power — 0.75 W, exposure duration — 0.25 s. The treatment was carried out before the graying of the pigmented area had been achieved: A — before the treatment; B — a month after 1 session of therapy with CVL (photo provided by Yuriy Andrusenko, a surgeon at the Clinic "Health Institute", Kharkiv, Ukraine)



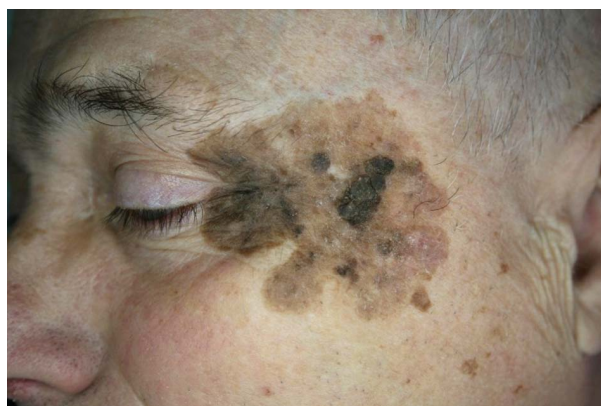
А



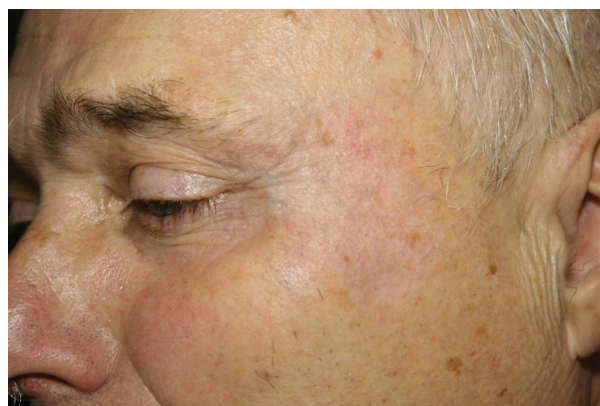
Б

Рис. 2. Пациентка М., средняя мощность — 0,7 Вт, экспозиция — 0,3 с. Фото: А — до; Б — спустя два месяца после лечения ЛПМ (фото предоставлено Юрием Андрусенко, врачом-хирургом клиники «Институт здоровья», Харьков, Украина)

Fig. 2. Patient M., average power — 0.7 W, exposure duration — 0.3 s. Photo: A — before the treatment; Б — two months after the treatment with CVL (photo provided by Yuriy Andrusenko, a surgeon at the Clinic "Health Institute", Kharkiv, Ukraine)



А



Б

Рис. 3. Пациент 72 года, средняя мощность — 0,8 Вт, экспозиция — 0,3 с. 4 сеанса с интервалом в 1 месяц: А — до; Б — спустя 5 месяцев после 4 сеансов обработки ЛПМ (фото предоставлено врачом-хирургом Юрием Андрусенко, клиника «Институт здоровья», Харьков, Украина)

Fig. 3. Patient is 72 years old, average power — 0.8 W, exposure duration — 0.3 s. Received 4 treatment sessions with one month interval: А — before the treatment; Б — 5 months after 4 sessions of treatment with CVL (photo provided by Yuriy Andrusenko, a surgeon at the Clinic "Health Institute", Kharkiv, Ukraine)

Из анамнеза. Множественные (более 40 новообразований), возвышающиеся над уровнем кожи, с неровными краями, разного размера (от 1 до 12 мм в диаметре), окраска от светло-коричневого до темно-коричневого цвета, неровной поверхностью, появились 5 лет назад, в последнее время увеличились в размере.

Диагноз: себорейный кератоз (по гистологии).

Назначения. Лечение новообразования применением лазера на парах меди (ЛПМ).

Лечение. 1 сеанс лазерной обработки новообразования. Использовали среднюю мощность ЛПМ 0,7 Вт, длительность экспозиции — 0,3 с. Лечение проводилось без обезболивания. Лазерной обработке подвергали все пигментированные очаги за один сеанс. Критерием выбора параметров лазера являлось минимальное значение энергетической экспозиции, при которой наблюдалось посереение пигмента после воздействия.

Результат. После лазерного воздействия область лечения посерела, через несколько дней появились корочки, которые отошли самостоятельно через одну неделю. Через 2 месяца после лечения ЛПМ пигментные новообразования полностью исчезли без формирования рубцов или изменения структуры кожи.

Клинический случай 3

Пациент К., 68 лет, обратился по поводу удаления пигментного новообразования в височной области (рис. 3А).

Из анамнеза. Новообразование появилось 4 года назад.

Диагноз: себорейный кератоз.

Назначения. Лечение новообразования применением лазера на парах меди (ЛПМ).

Лечение. 4 сеанса лазерной обработки новообразования. Использовали ЛПМ: мощность — 0,8 Вт, длительность экспозиции — 0,3 с. 4 сеанса с интервалом в 1 месяц. Обработка лазером проводилась без использования анестезии.

Результат. Через месяц после заключительного сеанса лечения с помощью ЛПМ новообразование полностью исчезло, не оставив рубцовых изменений тканей.

Пациенты были проинформированы, что в течение приблизительно одной недели после процедуры обработанное пигментное образование будет разрешаться путем шелушения. Область лазерного воздействия для лучшего заживления не рекомендовалось травмировать. После процедуры пациентам

рекомендовалось применять в течение двух месяцев солнцезащитный крем с фактором не ниже 30 для снижения риска возможной гиперпигментации от ультрафиолетового излучения.

Во всех трех приведенных клинических случаях импульсный лазер на парах меди был выбран как альтернатива классическим методам, включая хирургические, потому что лечение проводится амбулаторно (сеанс длится 5–10 минут), неинвазивно, доступно, бесконтактно (исключен риск инфицирования), легко переносится пациентом, проводится без анестезии, обработанные области не закрываются повязками, исключен риск кровотечения, не требует длительного послеоперационного ухода, заживление заканчивается без формирования рубца.

Обсуждение результатов

Для сравнения различных лазерных систем и определения эффективной глубины воздействия нами проведен расчет нагрева ткани лазерным излучением. Процедура моделирования описана в [14–16]. Расчеты выполнены с помощью математического моделирования динамики оптических и термодиффузионных процессов, обусловленных воздействием света на кожу. Использовалось программное обеспечение Matlab и его приложение для решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов Femlab.

Были проведены вычисления диапазона значений энергетической экспозиции (флюенсов), обеспечивающих нагрев ткани до температуры 65–120 °С, для ЛПМ (при соотношении 3:2 мощности на зеленой длине волны 511 к мощности на желтой длине волны 578 нм, время экспозиции — 0,2 и 0,4 с). Результаты расчета представлены на рисунке 4.

Можно наблюдать снижение эффективной глубины воздействия излучения ЛПМ в 1,5 раза при сокращении времени экспозиции с 0,4 до 0,2 с.

Для сравнения с диодным и Nd:YAG-лазерами, используемыми для лечения СК, в работах [17, 18]

вычислялись диапазоны значений энергетической экспозиции (флюенсов), обеспечивающих нагрев ткани до температуры 65–120 °С этими лазерами. На рисунке 5 приведено расчетное распределение глубины фотодеструкции ткани в зависимости от энергетической экспозиции для различных лазеров (ЛПМ — 578 нм, неодимового — 1064 нм и диодного — 980 нм, длительность экспозиции у всех лазеров выбиралась 0,4 с).

Из рисунка 5 можно видеть, что излучение ЛПМ обеспечивает энерговыход на глубине расположения эпидермального пигмента при наименьших энергетических экспозициях, не затрагивая более глубокие слои ткани.

В работе К. Somyos и других авторов [11] описано успешное удаление «кофейных пятен» излучением ЛПМ на зеленой длине волны 511 нм и энергетических экспозициях 7–22 Дж/см². Гистологическими исследованиями показано, что максимальная глубина повреждения пигментных клеток составляла 0,5 мм при энергетической экспозиции 12 Дж/см², что находится в хорошем соответствии с результатами моделирования.

Гистологические данные воздействия на эпидермальный пигмент различных длин волн лазера на красителе (504, 590, 694, 720, 750 нм), приведенные К. А. Sherwood и соавт. в работе [19], позволили авторам сделать вывод, что максимальная селективность воздействия на пигмент наблюдается при длине волны 504 нм, значение которой близко к зеленой длине волны ЛПМ 511 нм, используемой в нашей работе для лечения пациентов.

Авторы S. V. Cho и др. в работе [10] провели успешное лечение эпидермальных пигментных новообразований, в том числе СК, мелазмы и лентиго, на желтой длине волны ЛПМ 578 нм с энергетической экспозицией 30 Дж/см², значение которой соответствует результатам, полученным при моделировании.

Во время процедуры лазерное излучение при помощи специальной насадки фокусируется на коже пациента. Размер области фокусировки лазерного излучения определяется энергетическими характеристиками

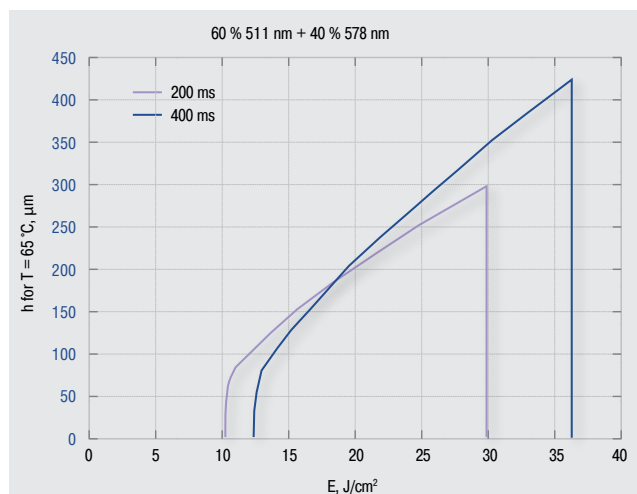


Рис. 4. Расчетная зависимость глубины фотодеструкции ткани от энергетической экспозиции ЛПМ при соотношении мощности на зеленой длине волны 511 к желтой длине волны 578 нм 3:2. Длительность экспозиции 200 и 400 мс

Fig. 4. The calculated dependence of the tissue photodestruction depth on CVL energy exposure with a ratio of power at the green wavelength of 511 to the yellow wavelength of 578 nm was 3 to 2. The exposure duration was 200 and 400 ms

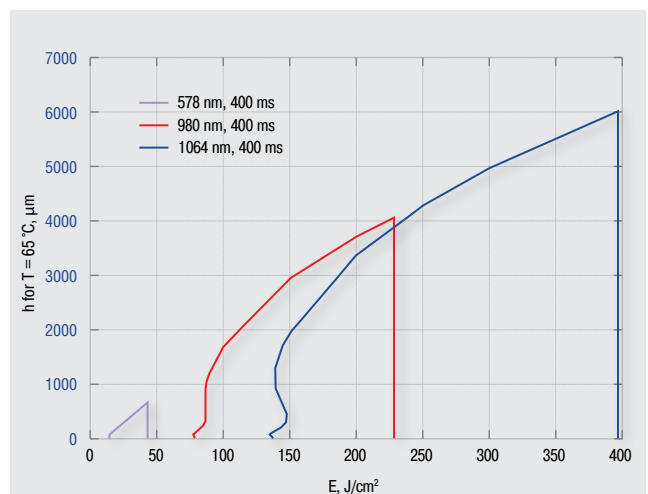


Рис. 5. Расчетное распределение глубины фотодеструкции ткани в зависимости от энергетической экспозиции для различных лазеров (ЛПМ — 578 нм, неодимового — 1064 нм и диодного — 980 нм)

Fig. 5. The calculated distribution of the tissue photodestruction depth depending on the energy exposure for various lasers (CVL — 578 nm, neodymium — 1064 nm and diode — 980 nm)

выбранного лазера и должен обеспечивать достижение энергетических экспозиций (флюенсов), необходимых для разрушения пигмента. Врач перемещает насадку по поверхности пигментированного образования, тщательно обрабатывая всю его площадь.

Метод ручного сканирования (рис. 6), при котором необходимо вручную перемещать насадку для фокусировки лазерного излучения по поверхности кожи, связан с двумя основными проблемами.

Первая — неточность позиционирования света над патологическим очагом.

Вторая — непостоянство скорости перемещения светового пятна над кожей.

Кроме того, максимальная скорость обработки ограничена навыками хирурга, а также имеющейся мощностью лазера. Например, хирург, имеющий опыт работы с лазером на протяжении нескольких лет, может обработать пигментное пятно на максимальной скорости перемещения лазерного пера, примерно 3 см/с.

Метод ручного сканирования также не может обеспечить равномерное воздействие на все части кожной патологии с одной и той же энергетической экспозицией, так как линейная скорость движения лазерного

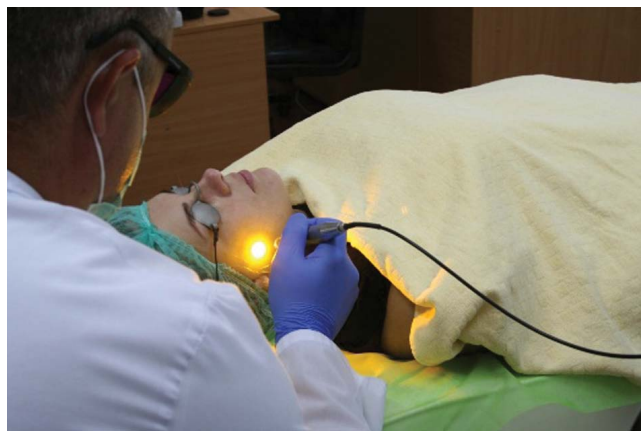


Рис. 6. Лазерное перо для лечения пациента
Fig. 6. Laser pen for treating a patient



Рис. 7. Сканер для лазерного аппарата на парах меди «Яхрома-Мед»
Fig. 7. Scanner for a laser device based on copper vapour "Yakhroma-Med"

пера не остается постоянной. Это особенно заметно в области периферии патологии, где скорость ведения насадки уменьшается, так как изменяется направление движения.

Для решения этих проблем было разработано устройство автоматического сканирования лазерного излучения (сканер). Сканер (рис. 7) обеспечивает значительно более точную энергетическую экспозицию и позиционирование самих точек воздействия на поверхности кожи.

Использование сканера существенно уменьшило риск возникновения рубцов по сравнению с методом ручного сканирования.

Выбор алгоритма сканирования лазерными импульсами поверхности пигментного пятна

В ранних моделях сканеров устройств [20] лазерные импульсы позиционировались на кожу последовательно «друг за другом» (так называемое растровое сканирование), что приводило к появлению полосок на коже по причине дополнительного подогрева от соседних областей обработки. Использование алгоритма непоследовательного выбора точек при сканировании позволило [21] избежать дополнительного подогрева от соседних областей обработки, а также сократить срок заживления за счет чередования областей лазерного воздействия с участками кожи, которые не подвергались лазерному воздействию.

В случае непоследовательного выбора точек при сканировании лазерные импульсы позиционируются на коже пациента в границах выбранного шаблона на максимально возможном расстоянии друг от друга, что дает возможность избежать дополнительного подогрева от соседних областей обработки (рис. 8).

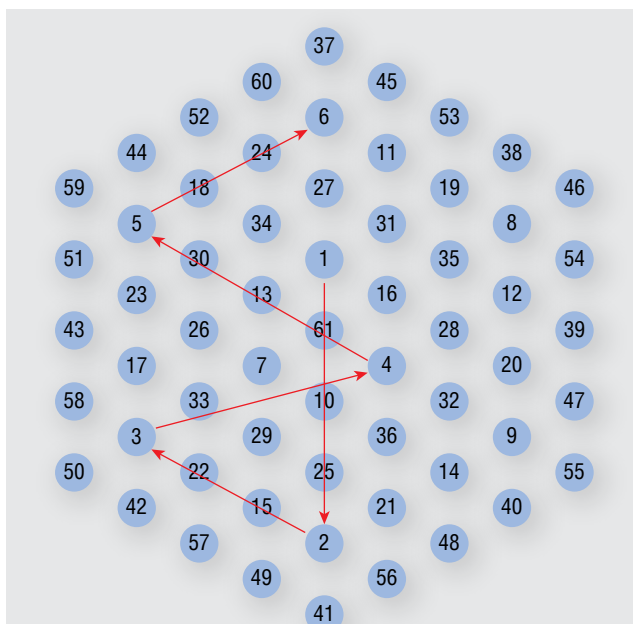


Рис. 8. Алгоритм непоследовательного позиционирования точек сканера лазерного аппарата «Яхрома-Мед». Стрелки показывают последовательность позиционирования световых пятен лазерного излучения сканером

Fig. 8. Algorithm for inconsistent positioning of points using the scanner of the "Yakhroma-Med" laser device. The arrows show the sequence of positioning the light spots of laser radiation by the scanner

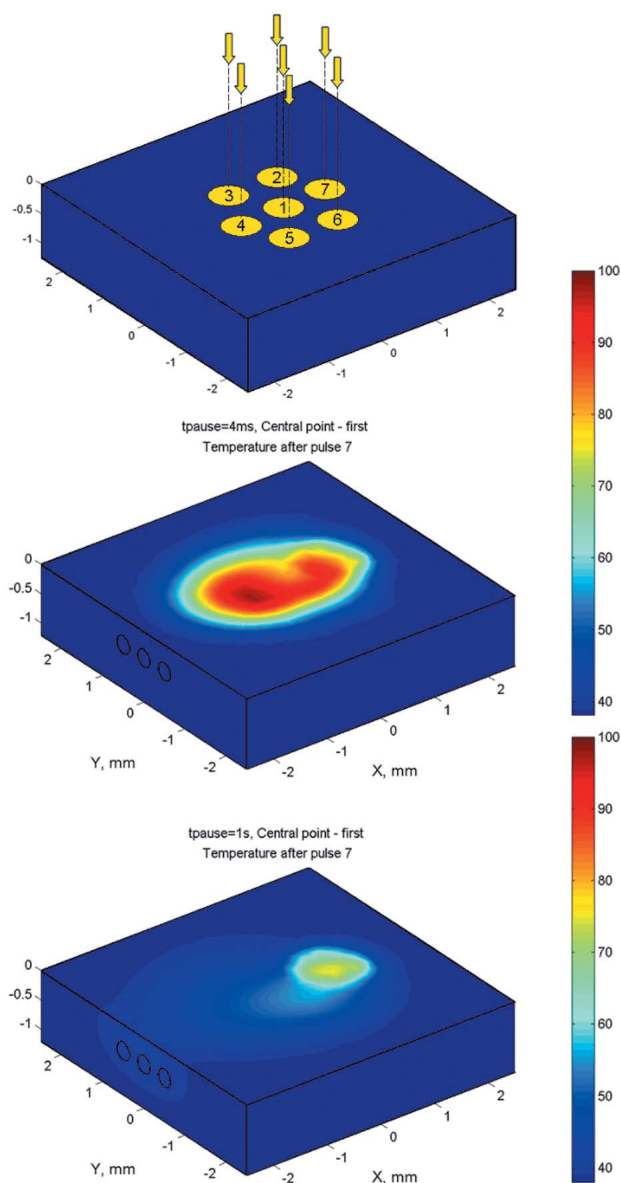


Рис. 9. Распределение температуры после седьмого импульса ЛПМ, энергетическая экспозиция ($F = 17,7 \text{ Дж/см}^2$). Сканирование производится по гексагональному шаблону с расстоянием между центрами световых пятен 1 мм (верхний рисунок). Диаметр светового пятна 0,6 мм. Длительность экспозиции 0,2 с. На верхнем рисунке показана геометрия модели. Пауза между импульсами 4 мс (средний рисунок) и 1 с (нижний рисунок)

Fig. 9. Temperature distribution after the seventh pulse of CVL, energy exposure ($F = 17.7 \text{ J/cm}^2$). Scanning is performed according to a hexagonal pattern, with a distance between the centres of the light spots being 1 mm (upper picture). The diameter of the light spot is 0.6 mm. Exposure time is 0.2 s. The top figure shows the geometry of the model. The pause between the pulses is 4 ms (middle picture) and 1 s (bottom picture)

Чтобы оценить эффект накопления тепла при последовательном позиционировании излучения ЛПМ сканирующей насадкой (области фокусировки лазерного излучения перемещаются по поверхности кожи за 4 мс) и в ручном режиме (пауза определяется перемещением фокусирующей насадки рукой врача, и для расчета выбрана 1 с), мы провели моделирование процедуры нагрева ткани излучением ЛПМ. Процедура моделирования описана в ряде работ [14–16].

При моделировании рассчитывался эффект накопления тепла от 7 лазерных импульсов ЛПМ (см. рис. 9). Контролировался нагрев поверхности кожи.

На рисунке 7 приведено расчетное распределение температуры поверхности кожи после шестого импульса с паузой 1 с и 4 мс. Можно наблюдать эффект накопления тепла при сканировании «точка за точкой» с паузой между импульсами через 4 мс (это пауза, с которой сканер производит перемещение светового пятна по коже) по сравнению с вариантом паузы между лазерными импульсами через 1 с (что соответствует ручному режиму). При паузе 4 мс при последовательном алгоритме позиционирования световых импульсов наблюдается подъем температуры поверхности кожи до уровня 60–65 °С, что может приводить к неселективному повреждению ткани.

Таким образом, для более безопасной и равномерной обработки кожи сканером необходимо использовать алгоритм несмежного позиционирования областей фокусировки лазерного излучения (см. рис. 8).

Заключение

1. Себорейный кератоз в последние годы является весьма распространенной формой опухолевого поражения кожи и составляет до 9 % эпителиальных опухолей кожи человека. Отмечается тенденция к изменению клинической картины заболевания, выражающаяся в «омоложении» болезни, склонности к поражению открытых участков кожного покрова.

2. Применение ЛПМ является методом выбора для лечения СК. ■

Литература/References

1. Culbertson G. R. 532-nm diode laser treatment of seborrheic keratoses with color enhancement. *Dermatologic Surgery*. 2008;34(4):525–528.
2. Mehrabi D., Brodell R. T. Use of the alexandrite laser for treatment of seborrheic keratosis. *Dermatologic surgery*. 2002;28(5):437–439.
3. Sayan A. et al. Management of seborrheic keratosis and actinic keratosis with an erbium: YAG laser-experience with 547 patients. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. 2019;48(7):902–907.
4. Fitzpatrick R. E., Goldman M. P., Ruiz-Esparza J. Clinical advantage of the CO2 laser superpulsed mode: treatment of verruca vulgaris, seborrheic keratoses, lentiginos, and actinic cheilitis. *The Journal of dermatologic surgery and oncology*. 1994;20(7):449–456.
5. Alam M., Warycha M. Complications of lasers and light treatments. *Dermatologic therapy*. 2011;24(6):571–580.
6. Alegre-Sanchez A., et al. Treatment of flat and elevated pigmented disorders with a 755-nm alexandrite picosecond laser: clinical and histological evaluation. *Lasers in medical science*. 2018;33(8):1827–1831.
7. Rajgopal Bala H., Pan Y., Nixon R. L. The dangers of non-medical laser therapy for pigmented lesions. *The Medical Journal of Australia*. 2017;206(5):229.
8. Anderson R.R., Parrish J. A. Microvasculature can be selectively damaged using dye lasers: a basic theory and experimental evidence in human skin. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1981;1(3):263.
9. Cho S., Choi Y. J., Kang J. S. Treatment of epidermal pigmented lesions with 578 nm yellow laser. *Medical Lasers; Engineering, Basic Research, and Clinical Application*. 2015;4(1):35–38.
10. Somyos K., Boonchu K., Somsak K., et al. Copper vapour laser treatment of café-au-lait macules. *Br J Dermatol*. 1996;135(6):964–968.
11. Lee H. I., Lim Y. Y., Kim B. J. et al. Clinicopathologic efficacy of copper bromide plus yellow laser (578 nm with 511 nm) for treatment of melasma in Asian patients. *Dermatol Surgery*. 2010;36(6):885–893.
12. Dinehart S. M., Waner M., Flock S. The copper vapor laser for treatment of cutaneous vascular and pigmented lesions. *The Journal of dermatologic surgery and oncology*. 1993;19(4):370–375.
13. Pushkareva A. E. Ponomarev I. V., Isaev A. A. Pushkareva A. E., Klyuchareva S. V. Numerical investigation of vessel heating using a copper vapor laser and a pulsed dye laser in treating vascular skin lesions. *Laser Physics*. 2018;28(2):025604.
14. Ponomarev I. V., Topchiy S. B., Pushkareva A. E., Klyuchareva S. V. Numerical simulation of port-wine stain blood vessel selective heating using a copper vapor laser with a scanner. *Laser Physics*. 2019;29(4):045601.
15. Ключарева С. В., Пономарев И. В., Пушкарева А. Е. Лечение сосудистых мальформаций кожи с применением лазеров на парах меди и импульсного лазера на красителе. *Вестник дерматологии и венерологии*. 2018;94(1):67–77. [Klyuchareva S. V., Ponomarev I. V., Pushkareva A. E. Therapy of skin vascular malformations using copper vapor laser and pulsed dye laser. *Vestnik dermatologii i venerologii*. 2018;94(1):67–77. (In Russ.)]
16. Desiate A. et al. 980 nm diode lasers in oral and facial practice: current state of the science and art. *International Journal of Medical Sciences*. 2009;6(6):358.
17. Suh H., Han K. H., Chung J. H. The use of Q-switched Nd: YAG laser in the treatment of superficial pigmented lesions in Koreans. *Journal of Dermatological Treatment*. 2001;12(2):91–96.
18. Sherwood K.A., Murray S., Kurban A.K., Tan O.T. Effect of wavelength on cutaneous pigment using pulsed irradiation. Effect of wavelength on cutaneous pigment using pulsed irradiation. *J Invest Dermatol*. 1989;92(5):717–720.
19. Smithies D. J., Butler P. H., Pickering J. W., Walker E. P. A computer controlled scanner for the laser treatment of vascular lesions and hyperpigmentation. *Clin Phys Physiol Meas*. 1991;12(3):261–267.
20. Clementoni M. T., Gilardino P., Muti G. F. Non-sequential fractional ultrapulsed CO2 resurfacing of photoaged facial skin: preliminary clinical report. *J Cosmet Laser Ther*. 2007;9(4):218–225.
21. Ключарева С. В., Пономарев И. В., Топчий С.Б. Пушкарева А. Е. Лечение ринофимы с помощью лазера на парах меди. *Вестник дерматологии и венерологии*. 2018;94(5):50–58. [Klyuchareva S. V., Ponomarev I. V., Topchiy S. B., Pushkareva A. E. Treatment of rhinophyma using a copper vapor laser. *Vestnik dermatologii i venerologii*. 2018;94(5):50–58. (In Russ.)]
22. Ключарева С. В., Пономарев И. В., Топчий С. Б. и др. Лечение базальноклеточного рака кожи в периорбитальной области импульсным лазером на парах меди. *Вестник дерматологии и венерологии*. 2018;94(6):15–21. [Klyuchareva S. V., Ponomarev I. V., Topchiy S. B. et al. Treatment of basal cell cancer in the periorbital area using a pulsed copper vapour laser. *Vestnik dermatologii i venerologii*. 2018;94(6):15–21. (In Russ.)]

Информация об авторах

Светлана Викторовна Ключарева* — д.м.н., профессор кафедры дерматовенерологии Северо-Западного государственного медицинского университета им. И. И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации; e-mail: genasveta@rambler.ru

Игорь Владимирович Пономарев — к.ф.-м.н., руководитель проекта, Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук; e-mail: iponom@okb.lpi.troitsk.ru

Сергей Борисович Топчий — к.ф.-м.н., научный сотрудник, Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

Александра Евгеньевна Пушкарева — к.т.н., тьютор, кафедра лазерных технологий и систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики (Университет ИТМО); e-mail: alexandra.pushkareva@gmail.com

Юрий Николаевич Андрусенко — дерматоонколог, лазерный хирург Клиники «Институт здоровья»

Information about the authors

Svetlana V. Klyuchareva* — Dr. Sci. (Med.), Prof. of the Department of Dermatovenereology, North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov, Ministry of Health of the Russian Federation; e-mail: genasveta@rambler.ru

Igor V. Ponomarev — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Project Manager, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences; e-mail: iponom@okb.lpi.troitsk.ru

Sergei B. Topchiy — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences

Alexandra E. Pushkareva — Cand. Sci. (Engineering), Tutor, Department of Laser Technologies and Systems, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University); e-mail: alexandra.pushkareva@gmail.com

Yury N. Andrusenko — Dermato-oncologist, Laser Surgeon, Clinic "Health Institute"