

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭСТЕТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

Егорова Е.А., Калинин Р.Е., Сучков И.А.*

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет
им. академика И.П. Павлова», Рязань

DOI: 10.25881/20728255_2023_19_1_136

Резюме. Открытию лазера в 1960 г. предшествовал многовековой период научных изысканий. Совокупность достижений квантовой физики и радиотехники позволили Теодору Мейману 16 мая 1960 г. запустить первый, совершенно новый источник света — лазер. С прошлого века и до настоящего момента лазерные устройства претерпели ряд существенных изменений, расширился спектр их применения. На сегодняшний день лазеры активно используются в различных областях медицинской практики, имеют ряд показаний и противопоказаний, а также в зависимости от оптических, теплофизических свойств ткани и целевого хромофора, применяются для коррекции большого количества эстетических проблем. Лазерная терапия предлагает ряд преимуществ перед традиционными методами лечения, включая точность, минимальную инвазивность и быстрое время восстановления в постпроцедурном периоде.

В обзоре подробно излагается история становления лазерных технологий, описываются существующие в настоящий момент виды лазерных устройств, активно используемых врачами-дерматологами и флебологами в своей практической деятельности. Изучение данного вопроса в настоящий момент остается актуально, так как несмотря на уже имеющиеся на сегодняшний день достижения в использовании лазерных технологий, этот метод лечения находится в непрерывном развитии и усовершенствовании.

Ключевые слова: история, лазер, дерматология, флебология, показания, противопоказания.

Лазеры достаточно длительный период времени широко используются в различных областях медицинской практики. Развитие лазерных технологий является одной из важнейших тенденций будущего, так как в условиях резистентности к действию многих лекарственных препаратов и возрастанием общей аллергологической распространенности населения, световое воздействие может стать отличной альтернативой традиционному химическому воздействию [1].

Понимание особенностей взаимодействия лазера с кожей и тканевыми хромофорами, наряду с последними достижениями лазерных технологий привело к разработке сложных, безопасных и удобных в использовании аппаратов, которые обеспечивают эффективную коррекцию различных эстетических недостатков [2].

Многолетние клинические исследования, подтверждающие эффективность лазерных методик, вызвали немалый интерес врачебного сообщества к лазерной коррекции эстетических недостатков, в том числе к широкому признанию чрескожной лазерной облитерации телеангиэктазий сообществом дерматологов и флебологов, и создали растущую популярность методики среди потенциальных пациентов [3].

На основании анализа 200 статей базы биомедицинских данных PubMed, поиск которых осуществлялся по ключевым словам: «история», «лазер», «показания», «противопоказания», было отобрано

LASER TECHNOLOGIES IN AESTHETIC MEDICINE: PAST AND PRESENT

Egorova E.A., Kalinin R.E., Suchkov I.A.*
Ryazan State Medical University, Ryazan

Abstract. The discovery of the laser in 1960 was preceded by a long period of scientific research. The combination of achievements in quantum physics and radio engineering allowed Theodore Maiman to launch the first, completely new light source on May 16, 1960 — a laser. Laser devices have undergone a number of significant changes over a long time, and the range of their applications has expanded. Today lasers are actively used in various areas of medical practice. Lasers have indications and contraindications. Lasers are used to correct a large number of aesthetic problems, depending on the optical, thermos-physical properties of the tissue and the target chromophore. Laser therapy has advantages over traditional treatment methods: precision, minimal invasiveness and fast recovery time after the procedure.

The review article presents in detail the history of laser technologies, describes the currently existing types of laser devices actively used by dermatologists and phlebologists in their practice. The study of this issue is relevant because this method of treatment is in constant development and improvement.

Keywords: history, laser, dermatology, phlebology, indications, contraindications.

и проанализировано 54 источника, наиболее полно отражающих этапы становления лазерной технологии, а также имеющиеся в настоящий момент типы лазерных устройств с полной информацией о их применении в практике врача-дерматовенеролога и врача-флеболога.

Лазер как устройство появился в результате многовекового активного развития и совокупности достижений квантовой физики и радиотехники. Корпускулярная теория света, природа возникновения которого тысячами изучалась выдающимися учеными с древних времен, имеет непосредственную связь с развитием квантовой физики [4].

История изучения света берет свое начало в 460–370 гг. до н.э., когда впервые древнегреческий философ Демокрит предположил, что зрение обусловлено восприятием органа чувств атомов от светящегося предмета. С тех пор именно Демокрит считается родоначальником идеи квантов света.

В 325–270 гг. до н.э. Евклид впервые применил математические и геометрические знания при изучении света, в частности — его распространения при попадании на плоскую поверхность [5].

В 100–160 гг. н.э. Клавдий Птоломей изучал преломления света в прозрачных веществах, определял изменения положения светил на небе за счет преломления света в воздухе.

* e-mail: suchkov_med@mail.ru

В 1214–1294 гг. Роджер Бэкон исследовал отражения в вогнутых параболических зеркалах, что в последствии нашло свое применение в развитии офтальмологии [6].

В XVI–XVII вв. Сиелиус установил закон преломления, что послужило основой для исследований Гримальди, который в перспективе открыл явление дифракции и выдвинул гипотезу о волнообразной природе распространения света.

В XVII–XVIII вв. Ньютоном была открыта дисперсия света, в это же время Гюгенс выдвинул гипотезу о продольной природе световых волн, что помогло объяснить явления дифракции и интерференции, а Эразмом Бартолином было открыто явление поляризации света [1; 3].

В XVIII–XIX вв. Томас Юнг разработал теорию интерференции световых волн. Этьенн Луи Малюс открыл изменения степени поляризации при отражении света от поверхности, а Огюстен Жан Френель доказал волновую теорию распространения света, предложенную ранее Гюгенсом.

В XIX в. началось активное изучение радиотехники, которое неразрывно связано с исследованиями электрических явлений, а также продолжилось развитие световой теории. В 1849 г. Физо Арман Ипполит Лун определил скорость света в воздухе, равную 315000 км/с. В 1850 г. Фуко Жан Бернал Леон доказал коэффициент преломления света в воде, в численном эквиваленте равный 1,33 [5; 6].

В XVIII–XIX в. Майкл Фарадей предположил, что свет представляет собой явление электромагнетизма, а Джеймс Клерк Максвелл разработал электромагнитную теорию.

В 1887–1894 гг. Генрих Рудольф Герц доказал существование электромагнитных волн и изучил ряд их свойств. Позднее была создана теория, объясняющая фотоэффект, а также ряд факторов в фотохимии и в люминесценции, также кванты были переименованы в фотоны [5].

В начале XX в. появилась теория света, которая основывалась на квантовых представлениях. На основании данной теории было установлено, что свет обладает волновыми и корпускулярными свойствами. 1900 г. принято считать годом рождения квантовой физики, ведь именно в это время Максом Планком был создан труд об испускании энергии излучения в виде отдельных пропорции энергии — квантов.

Макс Планк долгое время изучал термодинамические явления излучения и обнаружил взаимосвязь между энергией и частотой излучения. На основании проведенных исследований Планку удалось прийти к выводу, что энергия может излучаться или поглощаться только порционно. Эти отдельные порции энергии были названы квантами [5; 6].

Теория Планка вдохновила на открытия и других физиков. В 1905 г. Эйнштейн предложил теорию, передачи светом порционной энергии, представленной фотонами — дискретными квантовыми частицами.

В 1911 г. Эрнест Резерфорд предположил планетарную модель атома с положительно заряженным ядром в центре и отрицательно заряженными электронами, вращающимися вокруг [5; 7].

А уже в 1913 г. Нильс Бор обосновал модель атома, предложенную Резерфордом, а также высказал предположение о том, что электроны вращаются вокруг атома по конкретным орбитам, что напоминает движение планет вокруг звезды.

Позже, в 1916 г., Эйнштейн ввел концепцию стимулированного излучения: фотоны, взаимодействуя с возбужденными атомами или молекулами, могут стимулировать излучение новых фотонов, имеющих ту же частоту, фазу, поляризацию и направление, что и первый [7].

Несмотря на значительный вклад в науку Альберта Эйнштейна и уникальность открытой им квантовой теории излучения, исследования, которые были проведены в последующие несколько десятилетий, не оказали особого влияния на мир науки.

Только в 1928 г. немцы Ладенбург и Копферманн доказали феномен вынужденного излучения, исследовав отрицательную дисперсию света в инертном одноатомном газе — неоне [8]. Прошло еще два десятилетия, прежде чем в 1940 г. В.А. Фабрикант предположил, как стимулированное излучение в газовом разряде может усиливать свет, тем самым открыл отрицательное поглощение света. Спустя несколько лет, К.М. Пурселл и Р.Ф. Паунд описали стимулированное излучение радиоволн, получив при быстром переключении магнитного поля вынужденное излучение во фториде лития.

В 1953 г. американский ученый Дж. Вебер изобрел микроволновой усилитель, принцип действия которого основывался на стимулированном излучении в парамагнитном твердом теле [9].

Таким образом, начало XX века было ознаменовано зарождением с последующим развитием теории света. Согласно этой теории свет может проявлять себя как волна или как частица, в зависимости от условий, в которых происходит его распространение.

И только в 1954 г. теория А. Эйнштейна получила свое практическое применение, когда одномоментно американские ученые Таунс и Вебер, а также российские исследователи Басов и Прохоров независимо друг от друга сообщили о создании мазера (микроволновое усиление путем стимулированного излучения) — квантового генератора, излучавшего когерентные электромагнитные волны сантиметрового диапазона (микроволны) [10; 11].

В 1956 г. американский физик Николас Блумберген изобрел более мощный микроволновый кристаллический твердотельный мазер, усовершенствовав газовую модель [12]. Всплеск развития микроволновых мазеров, открытие новых устройств, стали мощным стартовым толчком для многих физиков, чьи умы поглотила мысль о распространении принципа действия мазера на более высокие частоты.

В 1958 г. Чарльз Таунс и Артур Шавалов опубликовали статью в одном из самых известных журналов в области физики — *Physical Review Letters*. В данной статье обозначалась концепция, согласно которой в теории лазеры можно заставить работать в оптической и инфракрасной областях [13].

Таким образом, можно считать, что открытие квантового генератора — лазера стало предпосылкой к созданию абсолютно нового высокотехнологичного устройства — лазера (от английского *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, что означает «усиление света в результате вынужденного излучения») [14]. Лазерное излучение было открыто в 1960 г., что послужило началом огромного количества открытий и развития всей лазерной техники.

16 мая 1960 г. Теодор Х. Майман, физик из *Hughes Research Laboratories* в Малибу запустили первый лазер [7], но впервые идея создания данного аппарата была высказана в научном сообществе задолго до его фактического появления. Теодор Мейман был выпускником Стэнфордского университета. В 1955 г. молодой доктор наук приступил к работе над этой идеей. Интересно отметить, что задолго до этого, в фантастическом романе «Гиперболоид инженера Гарина», советский писатель Алексей Толстой описал конструкцию, способную испускать луч огромной мощности. В романе была представлена система из ячеек с особыми химикатами, которые при реакции выделяли большое количество теплового излучения. Удивительным совпадением стала премьера этой книги на английском языке именно в 1955 г. [15; 16]. В 1960 г. Мейман создал первый в мире рабочий рубиновый лазер, а всего через две недели Гулд и Шоллоу также разработали свои рубиновые лазеры. Как это часто бывает с великими открытиями, лазер вначале вызывал сомнения. Однако период недоверительного отношения к новой технологии продлился недолго и уже в 1964 г. Таунс, Басов и Прохоров были удостоены Нобелевской премии за свои исследования в этой области. В 1977 г. Гулд был признан отцом лазера и ему принадлежит заслуга за первое введение термина «лазер» (Усиление света за счет стимулированного излучения) [17]. Таким образом, литературная идея, высказанная Алексеем Толстым, послужила вдохновением для Меймана и других ученых, что привело к созданию первого лазера и развитию этой удивительной технологии.

Несмотря на первоначальное недоверительное отношение научного сообщества к лазерным технологиям, лазер стал незаменимым устройством в современном научном мире, который постоянно совершенствуется и активно используется в различных направлениях практической медицины.

Таким образом, результатом многовековых научных изысканий стало открытие лазера в XX в.

Через 20 лет после изобретения лазера появились IPL-системы (*Intense Pulsed Light*), которые были разработаны в результате развития световых технологий, основанных на использовании лазеров. Во время изучения

терапевтических эффектов технологии были проведены клинические исследования, подтверждающие разработанную концепцию, на венах уха кролика, демонстрирующие способность IPL-терапии термокоагулировать сосуды, сводя к минимуму эритему и повреждение эпидермиса. В клинической практике терапия интенсивным импульсным светом была впервые продемонстрирована в 1992 г. докторами Голдманом, Фитцпатриком и Экхаузом для лечения телеангиэктазий ног.

В 1995 г. на рынок было выведено первое IPL-устройство, одобренное FDA [18].

Одной из главных целей разработки IPL-систем было сделать метод селективного фототермолиза более доступным и экономически выгодным. Вместо использования квантового генератора, излучающего монохроматический, когерентный лазерный пучок, в IPL-системах применяется мощная импульсная лампа, излучающая широкополосный свет. С помощью специальных фильтров можно выделить нужные длины волн из этого широкополосного спектра. Таким образом, IPL-системы могут селективно воздействовать на различные хромофоры в тканях, такие как меланин, оксигемоглобин, коллаген и эластин [18]. С начала 90-х гг. IPL-системы постоянно совершенствуются и эффективно помогают лечить сосудистые патологии пациентов.

Селективный фототермолиз

Лазерная технология имеет широкий спектр применения и продолжает развиваться, ежегодно появляются новые устройства и расширяются показания к лазерной терапии. Лазеры, используемые в медицине, обладают определенными характеристиками, которые делают их уникальными и эффективными инструментами для различных процедур. Лазерные лучи являются коллимированными (параллельными), когерентными (по фазе) и монохроматическими (с одной длиной волны). Выбор конкретного лазера для определенных показаний зависит от его способности поглощаться определенными хромофорами — молекулами или молекулярными структурами, которые наиболее эффективно поглощают энергию определенной длины волны. Процесс нацеливания на конкретный хромофор называется селективным фототермолизом [2].

Основные положения теории селективного фототермолиза:

- 1) чем короче длина волны излучения, тем тканевые хромофоры (меланин и гемоглобин) интенсивнее поглощают свет;
- 2) чем больше длина волны лазерного излучения, тем данное излучение глубже проникает и эффективнее поглощается хромофорами;
- 3) чем меньше размер мишени, тем короче должен быть импульс излучения;
- 4) при слишком коротком импульсе раньше разогрева мишени произойдет ее разрушение из-за ударных волн, обусловленных генерацией плазмы и оптическим пробоем [19].

Учет этих положений применительно к конкретной мишени помогает повышать эффективность воздействия, приводя к максимальному повреждению хромофора и минимальному повреждению соседних структур.

Фракционный лазерный фототермолиз

Еще одним принципом, на котором основано лазерное взаимодействие с тканями, является фракционный фототермолиз. Тканевым хромофором при данном типе воздействия будет являться вода.

В 2004 г. Д. Манштейн с соавт. [20] разработали новую технологию лечения кожи под названием фракционный лазерный фототермолиз. Она заключается в создании микротермических зон повреждения определенных размеров, которые не сообщаются между собой и окружены зонами интактной ткани. Такое разделение и сохранение неповрежденных зон позволяет эпителию быстро восстановить свою целостность благодаря активированной реэпителизации, что значительно ускоряет процесс заживления [20; 21].

Глубина и диаметр микротермических зон могут варьироваться в зависимости от клинических задач и регулироваться энергией лазерного излучения [22].

Основной механизм реализации фракционного лазерного фототермолиза заключается в использовании микроскопических пучков сфокусированного света, которые инициируют фокальные зоны повреждения в ткани [23].

На данный момент биологические механизмы восстановления ткани после лазерного воздействия недостаточно изучены [24].

Предполагается, что стимуляция регенерации и репарации кожи осуществляется контролируемым температурным стрессом эпидермиса и дермы при лазерном повреждении, при этом активируются реэпителизация и ремоделирование коллагена [25]. Лазерное воздействие на кожу приводит к денатурации коллагена и разрушению водородных связей в третичной спиральной структуре его волокон. Впоследствии формируется новая спираль, что способствует неокollaгеногенезу [25].

Основное изменение на молекулярном уровне при нагревании ткани — активация белков теплового шока (HSP), а также изменение регуляции других молекул, таких как трансформирующий фактор роста β (TGF- β), матричные металлопротеиназы, гиалуронатсинтетаза, гиалуронидаза и гиалуроновая кислота [26–30].

Белки HSP повышают способность клеток справляться с накоплением поврежденных белков, возвращая их в нормальную пространственную структуру или синтезируя новые белки с целью заменить поврежденные. Поэтому белки HSP играют важную роль в тканевой репарации [31; 32].

Проведенные исследования показали, что лазерное воздействие через 2–48 часов после процедуры активно усиливает экспрессию белка HSP70 в эпидермисе и в сетчатом слое дермы (вокруг кровеносных сосудов,

волосных фолликулов и сальных желез) [33]. При неабляционном лазерном воздействии уровень экспрессии белка HSP70 был ниже относительно абляционного воздействия [34–36].

Устройства, работающие на принципе фракционного фототермолиза широко используются в различных областях медицины: хирургии, дерматологии, гинекологии, стоматологии и других.

Виды лазеров, применяемых в медицине

Лазерные медицинские технологии в настоящий момент характеризуются разнообразием применяемого оборудования и многоплановым комплексным воздействием. Лазерное излучение находит применение в работе с различными структурами и тканями человеческого организма [37; 38].

У каждой ткани есть собственные оптические и теплофизические свойства, которые отличаются от свойств других биологических тканей. Следовательно, для каждого случая необходимо выбирать индивидуальные параметры воздействия: длину волны, продолжительность, мощность и частоту импульсов. Известно, что процессы, происходящие в биологических тканях под воздействием лазерного излучения, можно разделить на фотохимическое взаимодействие, тепловое взаимодействие и нелинейные процессы [39; 40].

Какие именно процессы доминируют в каждом конкретном случае зависит от параметров лазерного излучения. В общем, при низкой плотности мощности излучения и длительном времени воздействия преобладают фотохимические процессы, при более высокой мощности и меньшем времени воздействия ведущая роль отдается термическим процессам, а при использовании мощности излучения >10 кВт/см² и времени экспозиции ≤ 10 нс доминируют нелинейные процессы.

Медицинские лазеры классифицируются в соответствии с используемой средой. Характеристики длины волны, длительности импульса и поглощения различных хромофоров кожи определяют возможность клинического применения различных типов лазеров в дерматологии [41; 42]. В таблице представлены основные виды лазеров, используемых в медицине и их характеристики (Табл. 1; 2).

Существуют два основных типа лазерных вмешательств [43–45]. Первый тип — абляционное воздействие на покровные ткани, что представляет собой повреждение эпидермиса и/или нижележащих структур. Лазерное излучение в этом случае поглощается одинаково всеми слоями кожи. Данный тип вмешательства основывается на принципе фракционного фототермолиза и использует воду в качестве хромофора. CO₂-лазер и эрбиевый лазер (Er: YAG), работа которых базируется на принципе фракционного фототермолиза, в практике врача-дерматолога применяются для удаления новообразований кожи, а также для шлифовки и омоложения кожи.

Табл. 1. Основные виды лазеров, используемых в медицине и их характеристики [41; 42; 52–55]

Вид лазера	Длина волны (нм)	Активная среда	Хромофор	Тип воздействия
CO ₂ -лазер	10600	Газообразная смесь CO ₂ , N ₂ , He	Вода	Аблятивный
Er: YAG (эрбиевый)	2940	Эрбий в иттрий-алюминиевом гранате	Вода	Аблятивный
Nd:YAG (неодимовый)	1064	Неодим в иттрий-алюминиевом гранате	Меланин, гемоглобин	Неаблятивный
Q Switched Nd:YAG	1064/532	Неодим в иттрий-алюминиевом гранате	Темные чернильные пигменты	Неаблятивный
Рубиновый лазер	694	Кристалл рубина	Меланин и черно-синие чернила	Неаблятивный
KTP Nd:YAG (неодимовый лазер)	532	Неодим в иттрий-алюминиевом гранате	Гемоглобин, меланин	Неаблятивный
Александритовый лазер	755	Кристалл александрита, легированный хромом	Черный, синий, зеленый пигмент, меланин	Неаблятивный
Диодный лазер	810	Арсенид галлия	Меланин и гемоглобин	Неаблятивный
Лазеры на красителях	400–800	Органические соединения родамина	Меланин, гемоглобин	Неаблятивный

Табл. 2. Показания и противопоказания к различным видам лазерного воздействия [41; 42; 52–55]

Вид лазера	Показания	Противопоказания
CO ₂ -лазер	Шлифовка и омоложение кожи, удаление образований	беременность и лактация; эпилепсия; психические расстройства;
Er: YAG (эрбиевый)	Удаление образований кожи, шлифовка и омоложение кожи	дерматологические заболевания (порфирия, псориаз, экзема, красный плоский лишай, атопический дерматит); сахарный диабет в стадии декомпенсации; нарушение целостности кожного покрова в месте воздействия; острые инфекционные заболевания, обострение герпеса; злокачественные новообразования; склонность к формированию келоидных рубцов; прием лекарств с фотосенсибилизирующим эффектом; тяжелые формы сердечно-сосудистых патологий в стадии декомпенсации; варикоз в области проведения лазеротерапии, а также тромбоз, острый флебит
Nd:YAG (неодимовый)	Лазерная терапия сосудистых и пигментных патологий, лазерное фотоомоложение, эпиляция	
Q Switched Nd:YAG	Удаление татуировок, терапия сосудистых патологий	
Рубиновый лазер	Удаление татуировок, темных пигментных пятен	
KTP Nd:YAG (неодимовый лазер)	Сосудистые и пигментные поражения	
Александритовый лазер	Удаление татуировок, меланодермии, эпиляция	
Диодный лазер	Эпиляция, лазерное фотоомоложение	
Лазеры на красителях	Сосудистые поражения, неаблятивное омоложение кожи	

Второй тип воздействия — это избирательное удаление патологических структур без повреждения эпидермиса. В этом случае излучение поглощается выборочно только этими структурами, а целостность покровных тканей остается неизменной. Соответственно, благодаря принципу селективного фототермолиза происходит разрушение хромофора без нарушения целостности эпидермиса.

Для достижения селективного воздействия подбирают определенную длину волны и режим облучения, которые гарантируют поглощение лазерного света хромофором и последующее его разрушение. Энергия излучения переходит в тепло — это основа принципа селективного фототермолиза [43; 46; 47]. Лазерное воздействие может быть направлено на меланин, гемоглобин и оксигемоглобин [47–49].

Лазерные вмешательства II типа активно используются при сосудистых патологиях кожи, в частности имеют широкое применение для лечения телеангиэктазий, что представляет смежный интерес врача-дерматолога и врача-флеболога, так как согласно Международной классификации хронических заболеваний вен данный

вид патологии может корректироваться как одним, так и другим специалистом [47; 50; 51]. Сосудистой патологии кожи можно корректировать с помощью лазеров, длины волн которых селективно поглощаются оксигемоглобином. К таким лазерам относятся: импульсный лазер на красителях — 585, 595 нм; калий-титанил-фосфатный — 532 нм; диодный лазер — 810 нм; неодимовый лазер — 1064 нм, и IPL — системы, с широким диапазоном волн от 500 — 1200 нм. Работа лазерных IPL — систем также основана на принципах селективного фототермолиза, но принцип когерентности и монохроматичности в данном типе воздействия не реализуется [50; 52]. На основании полученных данных многочисленных исследований было установлено, что когерентность и монохроматичность излучения не играют существенной роли в процессе облитерации сосудистой стенки, поэтому данный метод удаления телеангиэктазий наряду с другими видами лазерного воздействия считается эффективным [18].

Лазерная терапия предлагает ряд преимуществ перед традиционными методами лечения, включая точность: лазеры позволяют точно воздействовать на пораженные ткани,

минимизируя повреждение здоровых тканей; минимальную инвазивность: лазерная терапия выполняется в амбулаторных условиях, что сокращает время восстановления и снижает риск осложнений; быстрое время восстановления: после лазерной терапии пациенты могут практически сразу вернуться к своему обычному образу жизни; эффективность: лазерная терапия обладает широким спектром воздействия на различные хромофоры тканей.

Одним из самых актуальных и важных вопросов в настоящий момент является выявление среди многообразия лазеров наиболее эффективной и безопасной методики в терапии сосудистых патологий на лице. На сегодняшний день уже имеются исследования, посвященные изучению лазерных технологий, но из-за относительной новизны и активного использования данного метода терапии постоянно появляется и внедряется новое оборудование, что обуславливает необходимость продолжения клинических исследований [56; 57].

Лазерные медицинские технологии сегодня имеют широкий спектр применения и разнообразное используемое оборудование, позволяющее врачам различных специальностей реализовывать на практике аблятивные и неаблятивные методики. Среди неаблятивных методов воздействия особый интерес вызывает облитерация сосудистых поражений кожи — телеангиэктазий, так как является компетенцией как врача-дерматолога, так и врача-флеболога.

В настоящее время разрабатываются новые лазерные устройства, применяемые в чрескожной терапии сосудистых патологий, в то время как уже используемые лазеры претерпевают изменения, повышается профиль их безопасности и эффективности, что помогает улучшить качество жизни огромного количества пациентов и обуславливает необходимость продолжения клинических исследований.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Потехаев Н.Н., Круглова Л.С. Лазер в дерматологии и косметологии. — М.: МДВ, 2012. [Potekhaev NN, Kruglova LS. Laser in dermatology and cosmetology. M.: MDV; 2012. (In Russ.)]
2. Приезжаев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. — М.: Наука, 1989. [Priezhaev AV, Tuchin VV, Shubochkin LP. Laser diagnostics in biology and medicine. M.: Science, 1989. (In Russ.)]
3. Stratigos AJ, Dover JS, Arndt KA. Lasertherapie in der ästhetischen Dermatologie. *Hautarzt*. 2003; 54(7): 603-613. doi: 10.1007/s00105-003-0549-7.
4. Sheehan-Dare RA, Cotterill JA. Lasers in dermatology. *Br J Dermatol*. 1993; 129(1): 1-8. doi: 10.1111/j.1365-2133.1993.tb03302.x.
5. Geiges ML. History of lasers in dermatology. *Curr Probl Dermatol*. 2011; 42: 1-6. doi: 10.1159/000328225.
6. Graudenz K, Raulin C. Von Einsteins Quantentheorie zur modernen Lasertherapie. *Historie des Lasers in der Dermatologie und ästhetischen Medizin. Hautarzt*. 2003; 54(7): 575-582. doi: 10.1007/s00105-003-0542-1.
7. Einstein A. Zur Quantentheorie der Strahlung. *Physikalische Gesellschaft Zürich*. 1916; 18: 47-62.
8. Kopfermann H, Ladenburg R. Untersuchungen über die anomale Dispersion angeregter Gase II Teil. *Anomale Dispersion in angeregtem Neon — Einfluß von Strom und Druck, Bildung und Vernichtung angeregter Atome. Zschr Physik*. 1928; 48: 26-50. doi: 10.1007/BF01351572.
9. Weber J. Amplification of microwave radiation by substances not in thermal equilibrium. *Trans Inst Radio Eng PGED*. 1953; 3: 1. doi: 10.1109/irepped.1953.6811068.
10. Basov NG, Prokhorov AM. Application of molecular beams to the radio spectroscopic study of the rotation spectra of molecules. *Zh Eksp Theo Fiz*. 1954; 27: 431.
11. Gordon JP, Zeiger HJ, Townes CH. The Maser — new type of microwave amplifier, frequency standard, and spectrometer. *Phys Rev*. 1955; 99: 1264-1274. doi: 10.1103/PhysRev.99.1264.
12. Bloembergen N. Proposal for a new type solid-state maser. *Phys Rev*. 1956; 104: 324-327. doi: 10.1103/PhysRev.104.324.
13. Schawlow AL, Townes CH. Infrared and optical masers. *Phys Rev*. 1958; 112: 1940-1949. doi: 10.1103/PhysRev.112.1940.
14. Maiman TH. Stimulated optical radiation in ruby. *Nature*. 1960; 187: 493-494. doi: 10.1038/187493a0.
15. Hecht J. Short history of laser development. *Opt. Eng.* 2010; 49(9): 091002. doi: 10.1117/1.3483597.
16. Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ, Franke EK. Effect of the laser beam on the skin. *J Invest Dermatol*. 1963; 40: 121-122. doi: 10.1038/jid.1963.21.
17. Hecht J. Short history of laser development. *Opt. Eng.* 2010; 49(9): 091002. doi: 10.1117/1.3483597.
18. Gade A, Vasile GF, Rubenstein R. Intense Pulsed Light (IPL) Therapy. In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; April 10, 2023.
19. Anderson RR, Parrish JA. Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation. *Science* 1983; 220(4596): 524-7.
20. Manstein D, Herron GS, Sink RK, Tanner H, Anderson RR. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury. *Lasers Surg Med* 2004; 34(5): 426-438. doi: 10.1002/lsm.20048.
21. Wanner M, Tanzi EL, Alster TS. Fractional photothermolysis: treatment of facial and nonfacial cutaneous photodamage with a 1,550-nm erbium-doped fiber laser. *Dermatol Surg* 2007; 33(1): 23-28. doi: 10.1111/j.1524-4725.2007.33003.x.
22. Kono T, Chan HH, Groff WF, et al. Prospective direct comparison study of fractional resurfacing using different fluences and densities for skin rejuvenation in Asians. *Lasers Surg Med* 2007; 39(4): 311-314. doi: 10.1002/lsm.20484.
23. Tierney EP, Kouba DJ, Hanke CW. Review of fractional photothermolysis: treatment indications and efficacy. *Dermatol Surg*. 2009; 35(10): 1445-1461. doi: 10.1111/j.1524-4725.2009.01258.x.
24. Hsiao FC, Bock GN, Eisen DB. Recent advances in fractional laser resurfacing: new paradigm in optimal parameters and post-treatment wound care. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2012; 1(5): 207-212. doi: 10.1089/wound.2011.0323.
25. Helbig D, Paasch U. Molecular changes during skin aging and wound healing after fractional ablative photothermolysis. *Skin Res Technol*. 2011; 17(1): 119-129. doi: 10.1111/j.1600-0846.2010.00477.x.
26. Arany PR, Nayak RS, Hallikerimath S, et al. Activation of latent TGF-beta1 by lowpower laser in vitro correlates with increased TGF-beta1 levels in laser-enhanced oral wound healing. *Wound Repair Regen*. 2007; 15(6): 866-874. doi: 10.1111/j.1524475X.2007.00306.x.
27. Hantash BM, Bedi VP, Kapadia B, et al. In vivo histological evaluation of a novel ablative fractional resurfacing device. *Lasers Surg Med*. 2007; 39(2): 96-107. doi: 10.1002/lsm.20468.
28. Ravanti L, Kahäri VM. Matrix metalloproteinases in wound repair (review). *Int J Mol Med*. 2000; 6(4): 391-407. doi: 10.3892/ijmm.6.4.391.
29. Souil E, Capon A, Mordon S, Dinh-Xuan AT, Polla BS, Bachelet M. Treatment with 815-nm diode laser induces long-lasting expression of 72-kDa heat shock protein in normal rat skin. *Br J Dermatol*. 2001; 144(2): 260-266. doi: 10.1046/j.1365-2133.2001.04010.x.
30. Wilmink GJ, Opalenik SR, Beckham JT, et al. Molecular imaging-assisted optimization of hsp70 expression during laser-induced thermal preconditioning for wound repair enhancement. *J Invest Dermatol*. 2009; 129(1): 205-216. doi: 10.1038/jid.2008.175.
31. Atalay M, Oksala N, Lappalainen J, Laaksonen DE, Sen CK, Roy S. Heat shock proteins in diabetes and wound healing. *Curr Protein Pept Sci*. 2009; 10(1): 85-95. doi: 10.1177/138920309787315202.
32. Laplante AF, Moulin V, Auger FA, et al. Expression of heat shock proteins in mouse skin during wound healing. *J Histochem Cytochem*. 1998; 46(11): 1291-1301. doi: 10.1177/002215549804601109.

33. Laubach HJ, Tannous Z, Anderson RR, Manstein D. Skin responses to fractional photothermolysis. *Lasers Surg Med.* 2006; 38(2): 142-149. doi: 10.1002/lsm.20254.
34. Helbig D, Bodendorf M, Anderegg U, Simon JC, Paasch U. Human skin explant model to study molecular changes in response to fractional photothermolysis: spatiotemporal expression of HSP70. *Medical Laser Application.* 2010; 25: 173-180.
35. Helbig D, Moebius A, Simon JC, Paasch U. Nonablative skin rejuvenation devices and the role of heat shock protein 70: results of a human skin explant model. *J Biomed Opt.* 2010; 15(3): 038002. doi: 10.1117/1.3449736.
36. Karabut MM, Gladkova ND, Feldchtein F.I. Fractional laser photothermolysis in the treatment of skin defects: possibilities and effectiveness (review). *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2016; 8(2): 98-108. doi: 10.17691/stm2016.8.2.14.
37. Raulin C, Greve B, Grema H. IPL technology: a review. *Lasers Surg Med.* 2003; 32(2): 78-87. doi: 10.1002/lsm.10145.
38. Husain Z, Alster TS. The role of lasers and intense pulsed light technology in dermatology. *Clin Cosmet Investig Dermatol.* 2016; 9: 29-40. doi: 10.2147/CCID.S69106.
39. Михайлова И.А., Папаян Г.В. и др. Основные принципы применения лазерных систем в медицине / Под ред. Акад. Н.Н. Петрищева. — СПб, 2007, 44 с. [Mikhailova IA, Papayan GV, et al. The basic principles of the use of laser systems in medicine. Acad.N.N. Petrishchev, editor. St. Petersburg, 2007, 44 p. (In Russ.)]
40. Неворотин А.И. Введение в лазерную хирургию. — СПб.: Спецлит, 2000. [Nevorotin AI. Introduction to laser surgery. St. Petersburg: Spetslit, 2000. (In Russ.)]
41. Тучин В.В. Основы взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения с биотканями: дозиметрический и диагностический аспекты // Изв. АНФ. Сер. физ. — 1995. — Т.59. — №6. — С.120-143. [Tuchin VV. Fundamentals of interaction of low-intensity laser radiation with biological tissues: dosimetric and diagnostic aspects. *Izv. ANRF. Ser. phys.* 1995; 59(6): 120-143. (In Russ.)]
42. Шахно Е.А. Физические основы применения лазеров в медицине. — СПб: НИУ ИТМО, 2012. — 129 с. [Shakhno EA. The physical basis of the use of lasers in medicine. St. Petersburg: ITMO Research Institute, 2012. 129 p. (In Russ.)]
43. Wurtman RJ. The medical and biological effects of light. *Clin. Exp. Dermatol.* 1993; 16(2): 24-8.
44. Crochet JJ, Gnyawali SC, Chen Y, et al. Temperature distribution in selective laser-tissue interaction. *J. Biomed. Opt.* 2006; 11(3): 134-9.
45. Edris A, Choi B, Aguilar G, Nelson JS. Measurements of laser light attenuation following cryogen spray cooling spurt termination. *Lasers Surg. Med.* 2003; 32(2): 143-7.
46. Goldman L, Blaney DJ, Kindel DJ Jr, Franke EK. Effect of the laser beam on the skin. Preliminary report. *J. Invest. Dermatol.* 1963; 40: 121-2.
47. Patil UA, Dhami LD. Overview of lasers. *Indian J Plast Surg.* 2008; 41: S101-S113.
48. Kimel S, Svaasand LO, Hammer-Wilson MJ, Nelson JS. Influence of wavelength on response to laser photothermolysis of blood vessels: Implications for port wine stain laser therapy. *Lasers Surg. Med.* 2003; 33(5): 288-95.
49. Hedelund L, Haedersdal M, Egekvist H, Heidenheim M, Wulf HC, Poulsen T. CO2 laser resurfacing and photocarcinogenesis: An experimental study. *Lasers Surg. Med.* 2004; 35(1): 58-61.
50. Kim J, John R, Wu PJ, Martini MC, Walsh JT. Jr. In vivo characterization of human pigmented lesions by degree of linear polarization image maps using incident linearly polarized light. *Lasers Surg. Med.* 2010; 42(1): 76-85.
51. Камаев А.А., Булатов В.Л., Вахрамьян П.Е. и др. Варикозное расширение вен // Флебология. — 2022. — №16(1). — С.41-108. [Kamaev AA, Bulatov VL, Vakhratyan PE, et al. Varicose Veins. *Flebologiya.* 2022; 16(1): 41-108. (In Russ.)] doi: 10.17116/lebo20221601141.
52. Hillegherberg R. *Fundamental of Laser Surgery.* Eur J Surg. 1997; 163: 3-12.
53. Dover JS, Arndt KA. New approaches of the treatment of vascular lesions. *Laser Surg Med.* 2000; 26: 158-163. doi: 10.1002/(SICI)1096-9101(2000)26:2<158::AID-LSM6>3.0.CO;2-O.
54. Goldman MP, Fitzpatrick RE. Laser treatment of cutaneous vascular lesions. In *Cutaneous Laser surgery.* 2nd edition. Mosby: St Louis; 1999.
55. Hecht J. A short history of laser development. *Appl Opt.* 2010; 49(25): F99-122. doi: 10.1364/AO.49.000F99. PMID: 20820206.
56. Калинин Р.Е., Сучков И.А., Шанаев И.Н., Юдин В.А. Гемодинамические нарушения при варикозной болезни // Наука молодых. — 2021. — Т.9. — №1. — С.68-76. [Kalinin RE, Suchkov IA, Shanaev IN, Yudin VA. Hemodynamic disorders in varicose vein disease. *Science of the young.* 2021; 9(1): 68-76. (In Russ.)] doi: 10.23888/HMJ20219168-76.
57. Шанаев И.Н., Корбут В.С., Хашумов Р.М. Атипичные формы варикозной болезни вен нижних конечностей: особенности диагностики и оперативного лечения // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. — 2023. — Т.31. — №4. — С.551-562. [Shanaev IN, Korbut VS, Khashumov RM. Atypical Forms of Lower Limb Varicose Vein Disease: Features of Diagnosis and Surgical Treatment. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald.* 2023; 31(4): 551-562. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ107079>.