

МОЖНО ЛИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ ПРИМЕНЯТЬ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ДИОДЫ?

С.В. МОСКВИН

*ФГБУ Государственный научный центр лазерной медицины ФМБА России,
ул. Студенческая, д. 40, стр. 1, Москва, 121165, Россия, тел.: +7 (916) 987-9095;
e-mail: 7652612@mail.ru*

Аннотация. Вопрос об исключительности лазеров, степени влияния особых свойств низкоинтенсивного лазерного излучения, таких как когерентность, поляризованность и монохроматичность, на эффективность лазерной терапии продолжает вызывать споры.

В работе проанализированы публикации с 1973 по 2016 годы, в которых сравниваются лазерные и обычные источники света, и сделаны следующие выводы. Во-первых, достаточно много публикаций с некорректным сравнением или голословными утверждениями. Во-вторых, часто под лазерным излучением понимаются другие источники света без всяких на то оснований. В-третьих, из всех исследований, в которых сравнение проводится корректно, используются близкие параметры воздействия и модели, следует однозначный вывод – лазерный свет намного эффективнее. В-четвёртых, однозначно установлено, что самым важным параметром, который определяет эффективность лазеров является монохроматичность, т. е. существенно более узкая ширина спектра, чем у всех других источников света.

Для лазерной терапии – только лазерные источники света!

Ключевые слова: лазерная терапия, монохроматичность, медицина, ветеринария.

IS IT POSSIBLE TO USE THE LIGHT-EMITTING DIODES FOR LOW LEVEL LASER THERAPY?

S.V. MOSKVIN

*State Scientific Center of Laser Medicine, ul. Studencheskaya, d. 40, str. 1, Moscow, 121165, Russia,
Tel: +7 (916) 987-9095; E-mail: 7652612@mail.ru*

Abstract. The question of laser exclusivity as well as the degree of the effects of special properties of low-intensity laser illumination (LILI), such as a coherence, a polarity and a mono-chromaticity on the effectiveness of low level laser therapy (LLLT) continues to cause arguments.

The study analyzes publications from 1973 to 2016, in which laser and conventional light sources are compared and the following conclusions are drawn. First, there are a lot of publications with incorrect comparison or unfounded statements. Secondly, other sources of light are often meant by LILI without any justification. Thirdly, all studies in which the comparison is carried out correctly and close parameters of the impact and the model are used, have a firm conclusion that laser light is much more effective. Fourthly, it is uniquely identified that the most important parameter that determines the efficiency of lasers is mono-chromaticity, i.e., a much narrower spectral width than for all other light sources.

Only laser light sources can be used for LLLT!

Key words: low level laser therapy, mono-chromaticity, medicine, veterinary.

Low level laser therapy – метод лечения, появившийся в конце 60-х годов прошлого века в странах Восточной Европы, и получивший затем наибольшее развитие в СССР [14], а в настоящее время находит всё большее признание и в других странах мира. Результаты многочисленных исследований, изучение закономерностей *биомодулирующего действия* (БД) *низкоинтенсивного лазерного излучения* (НИЛИ), проведённых на животных, и отработанные на них лечебные схемы – легли в основу метода, широко используемого как в ветеринарии, так и медицине: урологии, неврологии, стоматологии, педиатрии, оториноларингологии, гинекологии и др. [5, 10, 16, 17, 18, 21, 26].

Казалось бы, вопрос, вынесенный в заглавие статьи, абсолютно риторический, разве допустимо для лазерной терапии использовать *не лазерные источники света*? Тем не менее, проблема существует и становится с каждым днём всё актуальнее.

Дело в том, что термин *Low Level Laser Therapy* (LLLT), изначально сформулирован именно для лазеров [28], однако всё чаще аббревиатуру LLLT стали расшифровывать, как «*low level laser (light) therapy*» [39, 63], или вообще заменять слово «*laser*» на «*light*» как синонимы [65], *бездоказательно декларируя якобы* отсутствие различий [44] и руководствуясь как бы благими намерениями, чтобы не «путаться» [43].

Мотивация таких действий весьма и весьма странная: «Как лазерный, так и обычный свет – это фотоны, свет есть свет, поэтому нет никакой разницы» [42, 44]. Пока непонятно, то ли незнание фактиче-

ского материала, то ли в результате намеренных действий, делаются подобные заявления. Попробуем разобраться, чем чревата такая подмена, почему нельзя использовать отбойный молоток вместо скальпеля при проведении хирургической операции только на том основании, что оба инструмента изготовлены из железа.

Основное отличие лазерного света – монохроматичность, в спектре только одна длина волны, именно это определяет и объясняет его беспрецедентно высокую эффективность, недостижимую для других источников света. Рассмотрим вначале этот вопрос с исторической точки зрения, эволюции свето- или фототерапии.

Ещё в XIX веке были известны лечебные свойства «концентрированного» света, т. е. выделенной светофильтром узкой части от всего спектрального диапазона излучения лампы, например, УФ, синей или красной области. Это открытие легло в основу нового направления медицины – свето- или фототерапии, а в 1903 году Н.Р. Финсену была присуждена Нобелевская премия «в знак признания его заслуг в деле лечения болезней, особенно *lupus vulgaris*, с помощью концентрированного светового излучения, что открыло перед медицинской наукой новые широкие горизонты». Все исследователи того времени были убеждены, что для повышения эффективности фототерапии необходимо выполнить следующие условия: *предельно уменьшить ширину выделяемой спектральной области и задать оптимальные мощность светового потока, площадь воздействия, экспозицию* [29, 32, 33, 45-47, 60, 61].

Лазерный свет не только монохроматичен, но задавать и контролировать его энергию, распределять её по поверхности и доставлять в нужное место без потерь намного проще, чем делать это в случае обычной лампы с фильтром. Лазеры оказались не только удобным, но и принципиально более эффективным инструментом лечебного воздействия, чем другие световые источники, в итоге появилось качественно новое направление фототерапии – *лазерной терапии* [14].

Перед тем, как приступить к анализу литературы и сравнительных исследований, необходимо разобраться в чисто технических вопросах, в частности, сравнить спектры различных источников света и их режимы работы.

Также обратим внимание ещё на одно важнейшее обстоятельство – во многих работах используется абстрактный термин «когерентность» без акцентирования внимания на двух отдельных составляющих этого понятия, а именно *пространственной и временной*, принципиально отличающихся по физическому смыслу и самой сути, вследствие чего их необходимо рассматривать независимо. *Пространственная когерентность*, т. е. расстояние, на котором световой поток остаётся когерентным, не влияет на эффективность биомодуляции хотя бы потому, что исчезает почти сразу в верхних слоях кожи. Но вот *временная когерентность*, по сути, степень монохроматичности, сохраняется вплоть до полного поглощения света в биотканях.

Есть все основания утверждать, что для лазерных источников её вклад поляризации в общий результат невелик, но вот при использовании широкополосных источников света она исключительно важна, и неполяризованный свет чаще всего абсолютно бесполезен с лечебной точки зрения.

Анализ литературы, собственный исследовательский опыт и элементарные знания основ биофизики позволяют утверждать, что нельзя рассматривать вопрос о значимости специфических свойств лазерного света с позиции крайностей, есть или нет (совсем) «когерентность». Необходимо в конкретных цифрах оценивать значения ширины спектральной линии для правильной интерпретации экспериментальных данных, перейти от качественных оценок к количественным.

Современные технические средства варьирования шириной спектральной линии с контролем точного значения этого показателя – позволяют успешно проводить экспериментальные работы в данном направлении. Чаще всего сравнивают БД лазерных (или светодиодных) с тепловыми или газоразрядными источниками света (лампами). У последних с помощью различных монохроматоров (интерференционных светофильтров, дифракционных решёток и т. п.) вырезают относительно узкую спектральную линию шириной до 8–14 нм с максимумом на длине волны лазера, участвующего в сравнении. Некогерентное излучение всех источников света, кроме лазеров, называют «монохроматическим некогерентным», «узкополосным светом», «некогерентным узкополосным» и т. п. [7, 8, 12, 53].

На рис. 1 приведены в сравнении спектры лампы со специальным светофильтром, светоизлучающего диода и лазерного диода. Первый график взят из работы, в которой авторами измерен спектр пропускания устройств из музея Н.Р. Финсена [55], типовые спектры *светоизлучающих диодов* (СИД) и лазерных диодов приведены из каталогов компаний *NICHIA* и *OSRAM*, соответственно. У СИД спектр уже, чем у старинных ламп (и они удобнее в использовании), но он не идёт ни в какое сравнение с шириной спектральной линии лазерных диодов, это практически одна длина волны!

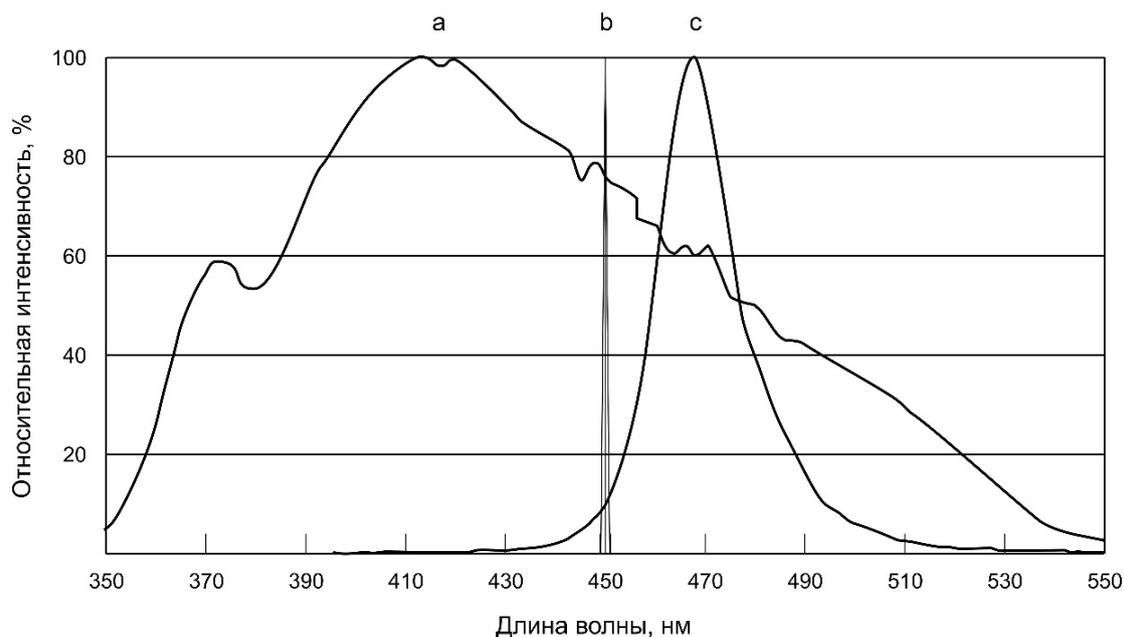


Рис. 1. Спектры лампы Финсена со специальным светофильтром (а), лазерного диода PL 450B OSRAM (б) и светоизлучающего диода NHSB046AT NICHIA (с)

В связи с этим приходится упоминать об откровенном мошенничестве (будем называть вещи своими именами), когда для лечения предлагается обычная светодиодная лампочка без всякого фильтра, причём в качестве её преимущества заявляется «... что спектр света этого прибора содержит не одну длину волны (как в свете лазера), а широкий диапазон, включая видимый спектр и часть инфракрасного излучения ... находится в диапазоне от 480 до 3400 нм» (<http://www.zepter.ru/mainmenu/products/medical/bioptron/ProductRange.aspx>)! Можем только посочувствовать тем, кто уже потратил немалые деньги на абсолютно бесполезную вещь, и посоветовать желающим «лечиться» таким образом, приобрести в любом хозяйственном магазине обычную настольную лампу, которая обойдётся в сотни (!) раз дешевле.

Другое отличие лазерных диодов от СИД – в режимах работы, из которых известны два основных – непрерывный и импульсный.

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) в непрерывном режиме чаще всего используется для лазерной акупунктуры (длина волны 635 нм, мощность 2-3 мВт) и *внутривенного лазерного освещения крови (ВЛОК)* (длина волны 365, 405, 445, 525 и 635 нм, мощность от 2 до 20 мВт), реже для местного воздействия, когда очаг поражения локализован близко к поверхности (различные длины волн, мощность от 10 до 200 мВт). Некогерентный свет СИД также иногда используется в этих методиках, хотя и с меньшей эффективностью.

Непрерывное излучение можно модулировать, т. е. менять его интенсивность во времени, как это делается в сигнальном прожекторе на корабле, включая-выключая который, передают сообщение азбукой Морзе. Модулировать можно как лазерный свет, так и обычный, но модуляция используется достаточно редко и его часто путают с импульсным режимом. Если есть импульсные лазерные диоды, то таких СИД не существует.

Уточним, о чём идёт речь. Импульсные лазеры принципиально не работают в непрерывном режиме, а генерируют импульсы с высокой импульсной (пиковой) мощностью (в терапии чаще всего используется мощность от 10 до 100 Вт) и постоянной длительностью (100-200 нс). Для таких лазеров в методиках всегда необходимо указывать частоту повторения импульсов, поскольку пропорционально ей меняется средняя мощность по формуле,

$$P_{average} = P_{pulsed} \times F \times \tau,$$

где: $P_{average}$ – средняя мощность, P_{pulsed} – импульсная (пиковая) мощность, F – частота повторения импульсов, τ – длительность импульсов (постоянная величина).

Из формулы следует, что при импульсной мощности 10-15 Вт и частоте 80-150 Гц (такие параметры чаще всего используются для инфракрасного (904 нм) НИЛИ) средняя мощность составит приблизительно 0,1 мВт, что в 100-1000 раз меньше, чем мощность, используемая для непрерывных источников света. Т. е. лазерный свет в импульсном режиме в 100-1000 раз эффективнее используется для инициирования сходных по силе реакций биологических систем на воздействие, чем непрерывный. Но импульсных СИД не существует, следовательно, невозможно достичь и такой эффективности.

Поэтому только НИЛИ в импульсном режиме позволяет реализовать такие методики, как:

- *неинвазивное лазерное освечение крови* (НЛОК);
- воздействие на глубоколежащие ткани и органы,
- воздействие на иммунокомпетентные органы;
- воздействие на нервные узлы;
- транскраниальная методика.

Кто-то может возразить, что НЛОК реализуется также и с помощью непрерывного НИЛИ (т. е. потенциально может быть реализована светом СИД), например, «китайский» вариант – эндоназальная (*intranasal*) методика, в которой локализация мотивируется близким расположением к поверхности капилляров, хотя и отмечается опосредованная роль нервной системы [51, 52]. Мы много раз отмечали, что освечение периферических сосудов нельзя называть НЛОК, необходимо воздействовать только на крупные кровеносные сосуды (вены и артерии) для получения адекватного отклика. Кроме того, при эндоназальной методике воздействие осуществляется на сверхчувствительную нейроэндокринную рефлекторную зону и сопровождается рефлекторным возбуждением гипоталамических образований, контролирующих секрецию биологически активных веществ, участвующих в различных процессах: стимулирование сокращения матки, регулирование систем кровообращения и репродукции, контроль продукции различных гормонов (фолликулостимулирующий гормон, эстрогены) и др. [23-25]. Т. е. такое воздействие исключительно опосредованное и не связано с непосредственным воздействием на кровь, иначе все бы светили на губы, поскольку доступнее капилляров просто нет (да и эффекта тоже). Но эндоназальная методика крайне опасна непредсказуемыми последствиями, особенно для женщин. Вряд ли кого-то ещё волнует проблема перенаселения, которую успешно решают китайцы, в том числе, активным распространением такой методики.

Споры на тему «лазер или СИД» давно уже перешли из чисто научной дискуссии в экономическую плоскость. Дело в том, что многочисленные создатели «псевдолазеров» активно (и безуспешно) пытаются подобные творения продавать под брендом именно «*LLLT*», обосновывая свои действия именно отсутствием специфичности лазерного света и его особой эффективности. Например, *H. Chung* с соавт. [36] в своём обзоре, включив только те немногочисленные и недостоверные исследования, которые не показали эффектов от лазерного воздействия, вообще заявили, будто бы перспективы развития *лазерной* терапии связаны с применением СИД. Но совершенно очевидно, что в такой подмене лишь неуёмное стремление неудачников занять незаслуженное место. Если их аппараты столь эффективны, то зачем лазер вообще упоминать и пользоваться чужим брендом? Проведите свои исследования, покажите результат, назовите всё это как-нибудь красиво, например, «СИД-терапия», «*LED*-терапия» или, как предложили *R.C.A. Pizzo* с соавт. [58], «*LEDytherapy*», и развивайте как новое направление. Почему так не поступить? Ответ на этот вопрос очевиден: отсутствие эффекта от некогерентных источников света или его малозначительность, все понимают, что бренд «СИД-терапии» быстро сойдёт на нет, если не «прикроеся» высокоэффективной лазерной терапией, заодно дискредитируя её.

Всем понятно, что объективный вывод может позволить сделать только сравнительное исследование, в котором на одной экспериментальной или клинической модели при единстве всех составляющих методики будут различаться только ширина спектральной линии источников света. Поэтому при анализе литературных источников необходимо особо тщательно оценивать корректность сравнения, обращая особое внимание на идентичность и оптимальность *всех* параметров методик.

Например, совершенно непонятно, на каком основании Г.А. Залесская и соавт. [4] делают выводы «об отсутствии существенных различий в механизмах воздействия лазерного и нелазерного излучения», когда рассматривался только сдвиг кривой диссоциации гемоглобина после УФОК (254 нм, 20 мин, экстракорпорально) и НЛОК (670 нм, 15 мин, на кубитальную вену). При этом различие методик, в частности, длины волны, никак не учитывается, а также то, что больные проходили комплексное лечение, вследствие которого и могли произойти выявленные изменения. С таким же успехом в этом исследовании можно сравнить по «механизму» биологического действия эффективность НИЛИ и утренней гимнастикой.

Приведём другой, яркий пример абсолютно некорректных выводов, в котором сравнивалась БД лазерного света и СИД с разными длинами волн на модели стимулирования пролиферации фибробластов *in vitro*. Статистический анализ, по уверению авторов, показал более высокую скорость пролиферации во всех группах по сравнению с контрольной, но зелёный свет СИД (570 нм) значительно лучше стимулирует деление клеток, чем красный (660 нм) и инфракрасный (950 нм), причём все СИД эффективнее, чем лазерный свет [64]. Но как можно делать такой вывод, когда энергетические параметры: мощность, площадь, *плотность мощности* (ПМ), *энергетическая плотность* (ЭП) и экспозиция – различаются для НИЛИ и некогерентного света в *десятки* раз! Вполне очевидно, что сравнивать в данном исследовании более или менее корректно можно лишь три группы с СИД, да и то с оговорками (табл. 1).

Параметры используемых источников света в исследовании *E.M. Vinck* с соавт. (2003)

Длина волны, нм	Мощность, мВт	Площадь, см ²	ПМ, мВт/см ²	Экспозиция, с	ЭП, Дж/см ²
830 (лазер)	40	0,196	204	5	1
570 (СИД)	10	18	0,56	180	0,1
660 (СИД)	160		8,89	60	0,53
950 (СИД)	80		4,44	120	0,53

de Sousa A.P.C. с соавт. [40] сделали вывод, что свет как СИД, так и лазерных диодов приблизительно в равной степени стимулирует ангиогенез у животных (крысы линии Вистар), однако, для НИЛИ выбраны самые неоптимальные параметры методики, например, наименее эффективные длины волн, 660 и 790 нм, или концентрация световой энергии в точку, а не распределение её по площади, что привело к совершенно неприемлемой ПМ при необоснованно высокой мощности, к тому же экспозиция 168 и 200 с, мягко говоря, не оптимальны. Аналогичная ошибка была сделано и в более ранней работе [37].

Подобных исследований можно привести достаточно много, и вполне вероятно, что скоро кто-то будет сравнивать СИД просто с выключенным лазерным аппаратом, утверждая при этом, что последний совершенно неэффективен!

В исследовании *T.N. Demidova-Rice* с соавт. [41] другая проблема. Хотя не выявлено различий в стимулирующем раневой процесс эффекте (боковые эксцизионные раны 10×13 мм у мышей линий *BALB/c* и *SKH1*) как от некогерентного света лампы (635±15 нм), так и *гелий-неонового лазера* (ГНЛ) (633 нм, 2 Дж/см²) [41], причина этого в совершенно неверно выбранном времени воздействия – 30 мин. При такой экспозиции, в разы превышающей предельно допустимый уровень, эффект должен отсутствовать не зависимо от источника света, поэтому совершенно нельзя делать обобщающие выводы. Специалистам же известно, что экспозиция освечивания одной зоны ни в коем случае не должна превышать 300 с (5 мин) [11].

Проверку биостимулирующих свойств НИЛИ и света некогерентных источников (деполяризованного с широким спектром) на различных моделях проводили многие исследователи, при этом результаты существенно разнятся. Многое, очевидно, зависит от экспериментальной модели, однако общий характер сделанных выводов говорит в пользу большей эффективности монохроматичности – чем уже спектр, тем выше эффект при меньшей плотности мощности.

Одними из первых такое сравнение провели *D. Haina* с соавт. [48]. Воздействовали на экспериментальные раны (249 крыс линии Вистар) светом ГНЛ (1-я группа) и некогерентным светом с такой же длиной волны (2-я группа). В 1-й группе рост грануляционной ткани увеличился на 13% при ЭП 0,5 Дж/см² и на 22% при более оптимальной ЭП 1,5 Дж/см², во 2-й группе увеличение не превысило 10%.

Наша сравнительная оценка количественных результатов нескольких десятков исследований показала, что терапевтический эффект вызывает свет с шириной спектральной полосы менее $\Delta\lambda \approx 15-20$ нм, а при ширине спектральной полосы менее 3-5 нм дальнейшее сужение спектра почти не приводит к увеличению эффективности [Москвин С.В., 2003], что было подтверждено данными других авторов [1]. Приведём в качестве примера несколько исследований с известными значениями ширины спектральной линии источников света, подтверждающих наше мнение.

Эксперименты *В.А. Дубровского* с соавт. [2] показали, что коэффициент поглощения света гемолизата, оксигемоглобина и каталазы не зависит от пространственной когерентности и степени поляризации света. Значительно существеннее вклад временной когерентности (монохроматичности). Освечивание исследуемых молекул НИЛИ непосредственно и светом лампы накаливания через светофильтры показало, что излучение ГНЛ поглощается в несколько раз (в зависимости от концентрации исследуемого объекта) активнее, чем некогерентный свет с большей шириной спектра. Это преимущество НИЛИ авторы исследования связывают исключительно с тем, что коэффициент поглощения некогерентного света, усреднённый по ширине спектра излучения лампы накаливания ($\Delta\lambda \approx 10$ нм), оказывается ниже соответствующего коэффициента для лазерного луча, определяемого, по существу, только для одной длины волны.

В.Ю. Плавский и *Н.В. Барулин* [22] наглядно продемонстрировали зависимость эффекта от ширины спектральной линии в результате воздействия на оплодотворённую икру осетровых рыб. Правда, в третьем варианте применяли так называемый «белый» СИД с длинами волн максимумов в другой области спектра, синей и зелёной (рис. 2).

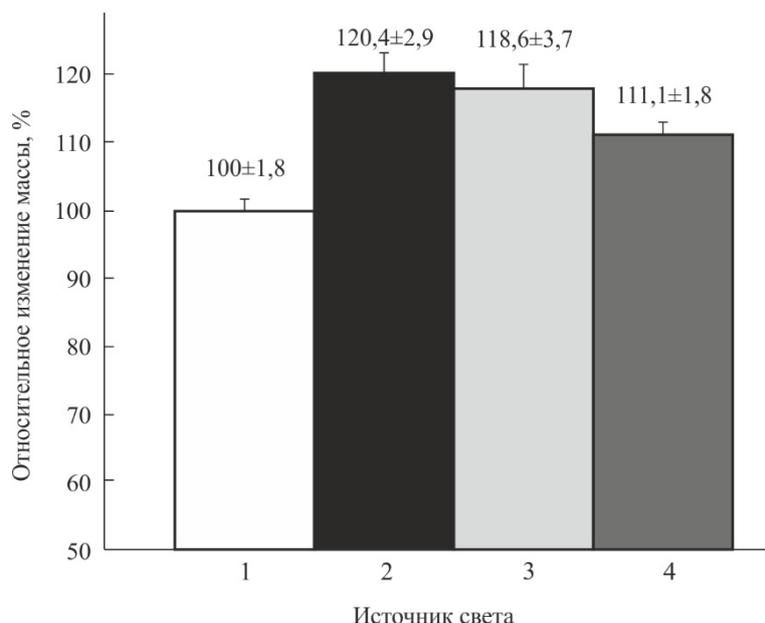


Рис. 2. Влияние степени монохроматичности поляризованного света (плотность мощности 2,9 мВт/см², экспозиция 60 с), при воздействии на оплодотворённую икру, на массу 50-дневной молоди осетровых рыб: 1 – контроль; 2 – ГНЛ ($\lambda_{\max}=633$ нм, $\Delta\lambda=0,02$ нм); 3 – СИД ($\lambda_{\max}=631$ нм, $\Delta\lambda=15$ нм); 4 – «белый» СИД ($\lambda_{\max1}=453$ нм, $\Delta\lambda\approx 20$ нм; $\lambda_{\max2}=567$ нм, $\Delta\lambda\approx 130$ нм) (Плавский В.Ю., Барулин Н.В., 2009)

Обычно в исследованиях сравнивают действие света когерентных (лазеров) и некогерентных источников. Работа R. Lubart с соавт. [54] – одна из немногих, где обошлись без лазеров, изучая фотобиологическое действие света только от СИД с длиной волны 540 нм ($\Delta\lambda\approx 5$ нм) и лампы с фильтром в спектральном диапазоне 600-900 нм ($\Delta\lambda\approx 300$ нм), но она позволяет сделать интересные выводы. В первую очередь, мы находим подтверждение значимости такого относительного показателя, как *спектральная плотность мощности*. На рис. 3 представлены энергетические параметры, оптимальные для стимулирования деления клеток (фибробласты кожи человека) для двух разных источников света в зависимости от плотности мощности (верхние графики) и энергетической плотности (нижние графики) при одинаковой экспозиции (300 с) [54]. Эффект, хоть и незначительный, наблюдался в обоих случаях, однако, чем шире спектр, тем большие (и существенно!) значения плотности мощности и энергии необходимы для достижения результата. Такой вывод вполне укладывается в предложенную нами модель термодинамического запуска Ca^{2+} -зависимых процессов – чем уже спектр, тем значительнее температурный градиент, возникающий вследствие поглощения энергии фотонов [13]. В этой работе, кстати, достаточно много говорится о роли Ca^{2+} в отклике живой клетки на её освечивание.

В экспериментах с культурой клеток (митотическая активность *Staphylococcus aureus*) практически не было выявлено различий в эффектах от НИЛИ одномодового с шириной спектральной линии менее 0,1 нм и многомодового с $\Delta\lambda\approx 4$ нм диодных лазеров с одной длиной волны (1300 нм) [9]. В данном диапазоне значений этого показателя нет изменений при уменьшении ширины спектра, следовательно, не нужно стремиться к применению в ЛТ одномодовых, тем более, одночастотных лазеров.

Т.Й. Кару с соавт. [8] получили для культуры клеток *HeLa invitro* различия в росте проницаемости клеточных мембран для H^3 -тимидина на 20%, а увеличение синтеза ДНК на 15% после воздействия излучением ГНЛ и отфильтрованным некогерентным светом лампы с близкой длиной волны и шириной спектральной полосы ≈ 14 нм. Лазерный свет был, разумеется, значительно эффективнее. По мнению авторов, отсутствие более выраженной зависимости эффекта от ширины спектральной линии объясняется различием скоростей создания и релаксации когерентности. Скорость возбуждения молекул («создание когерентности») равна $0,003-0,03$ с⁻¹ при плотности мощности НИЛИ в диапазоне 1-10 мВт/см², в то же время скорость потери когерентности возбуждения за счёт расфазировки волновых функций возбуждённых состояний молекул в тех же условиях составляет порядка $10^{11}-10^{12}$ с⁻¹. То есть значимость ширины спектральной линии в достигаемом эффекте авторы напрямую связывают с эффективным сечением поглощения молекулы.

M. Boulton и J. Marshall [35], наблюдая усиление пролиферации фибробластов *invitro* на фоне освечивания в течение 15 мин ГНЛ (633 нм) и галогенной лампой с фильтром (640 нм, $\Delta\lambda \approx 9$ нм), показали, что если НИЛИ существенно ускоряет процесс (на 20-40%), то свет лампы не оказывает никакого влияния. Однако параметры методики были выбраны весьма странные, экспозиция значительно больше

оптимальных значений, плотность мощности всего $0,1 \text{ мВт/см}^2$, лазер работал в режиме модуляции ($F=100 \text{ Гц}$, $\tau_i \approx 3 \text{ мс}$, $Q=3$), что не обеспечивает абсолютной корректности сравнения, поскольку лампа работала непрерывно.

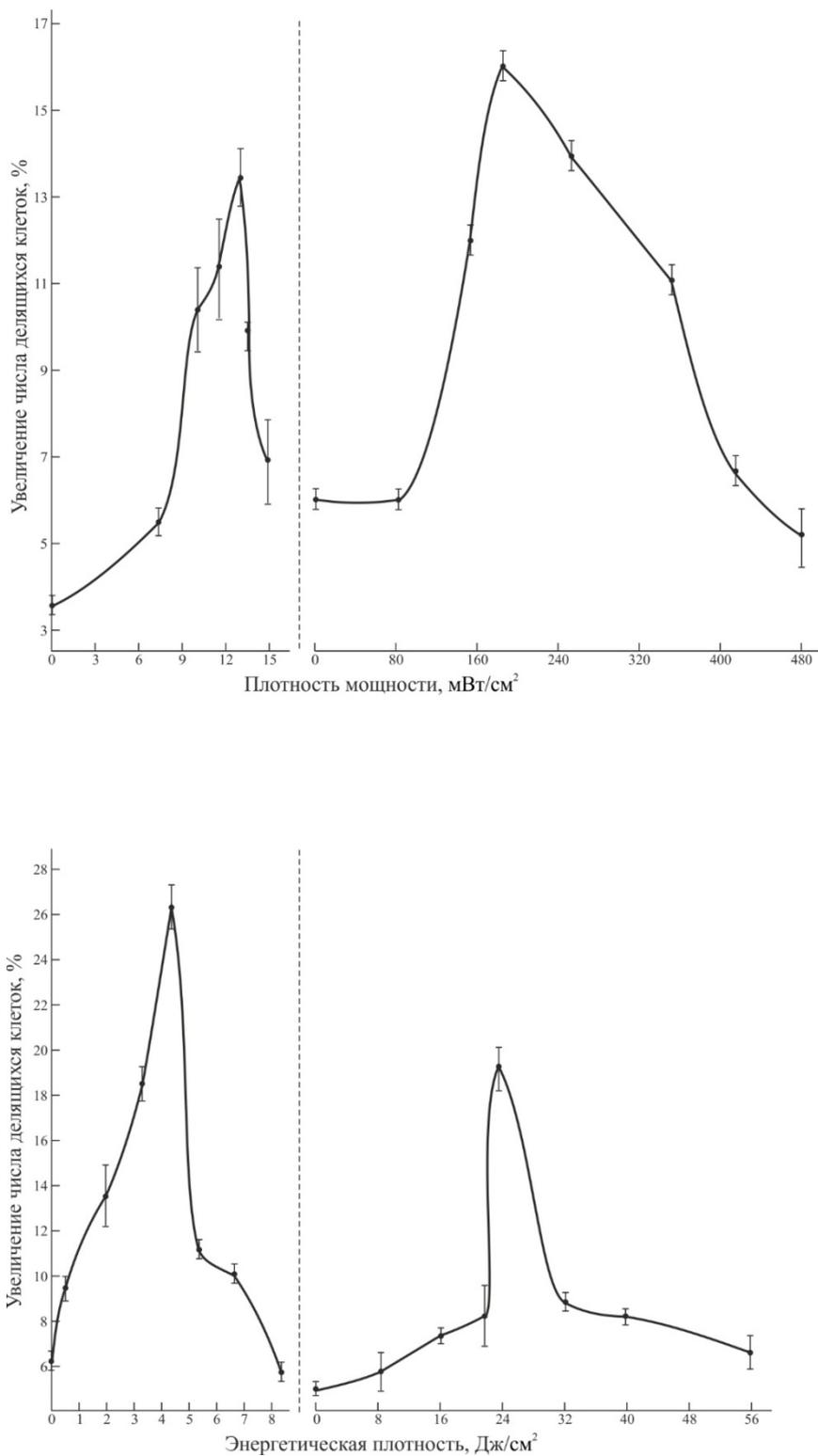


Рис. 3. Стимулирование деления клеток в зависимости от плотности мощности (вверху) и ЭП (внизу) для СИД (слева), $\lambda=540 \pm 5 \text{ нм}$ и лампы с фильтром (справа), $\lambda=600-900 \text{ нм}$ (Lubart R. et al., 1993)

S. Rochkind с соавт. [62] изучали терапевтическую эффективность света пяти различных длин волн при воздействии на периферические нервы. Освечивание ГНЛ (633 нм) приводило к повышению функциональной активности повреждённого нерва, некогерентный свет (660 нм) оказался значительно менее эффективен, а воздействие ИК НИЛИ (830 нм) и некогерентным светом (880 и 950 нм) никакого эффекта не вызвало.

ГНЛ стимулирует активность лимфоцитов и макрофагов *in vitro*, вызывает повышение фагоцитарной активности, высвобождение иммуноглобулинов. Аналогичного результата не наблюдается при воздействии обычным монохроматизированным светом с такой же длиной волны (в максимуме) и при той же энергетической плотности [30, 31].

Достоверно лучшим (на 45%), чем в контрольной группе и при использовании СИД, было заживление ран в группе животных (крысы линии Вистар) при воздействии на рану излучением лазерных диодов (длина волны 830–840 нм, ЭП выбрана оптимальная, равная 1 Дж/см²), т. е. на данной модели продемонстрирована полная неэффективность светодиодов [57].

Если лазерный свет (ГНЛ) существенно повышает жизнеспособность спермий морских ежей, голотурий и двусторчатых моллюсков, то СИД (850 нм) никакого влияния не оказывает [27].

J. Kubota, T. Ohshiro [49] на модели искусственного ушиба (крысы линии Вистар) показали, что после освечивания диодным лазером (830 нм) ушибленные ткани имели лучшую перфузию, большее число капилляров, существенно возросла скорость кровотока. Различий в показателях у крыс, которым проводили освечивание СИД (840 нм), и в контрольной группе не наблюдалось.

Проведённые *P. Pöntinen* [59] измерения методом лазерной доплеровской флоуметрии состояния капиллярного кровотока кожи головы здоровых мужчин через 30 мин после воздействия НИЛИ (670 нм, ЭП 0,12–0,36 Дж/см² на 4 зоны) и СИД (635 нм, ЭП 0,68–1,36 Дж/см²) показали, что лазерный свет приводит к усилению местного кровотока, тогда как излучение светодиодов вызывает обратный процесс.

E.L. Laakso с соавт. [50] обследовали по методике двойного слепого контроля 56 пациентов с хроническим болевым синдромом, выявлено значительное повышение уровней *адренкортикотропного гормона* (АКТГ) и β-эндорфина в двух группах лазерной терапии (длина волны 820 нм, мощность 25 мВт, и длина волны 670 нм, мощность 10 мВт). Эффекта в группе больных, которых освечивали СИД (длина волны 660 нм, ширина спектра 30 нм, мощность 9,5 мВт), не наблюдалось.

Фототерапия лампой мужчин с синдромом отсроченной мышечной боли (660–950 нм, 31,7 Дж/см², экспозиция 12 мин, в модулированном режиме, частоты 2,5; 5 и 20 Гц) оказалась абсолютно неэффективной [38]. Тут, опять же, должны сделать оговорку в отношении неоптимальной экспозиции.

I. Bihari и *A. Mester* [34] проводили сравнительную оценку лечения (при двойном слепом контроле) трёх групп пациентов с длительно не заживающими язвами нижних конечностей. В 1-й группе воздействовали излучением только ГНЛ, во 2-й – ГНЛ и диодным лазером, в 3-й группе – некогерентным и неполяризованным светом. У больных в группах 1 и 2 наступило излечение (во 2-й группе результаты были несколько лучше, чем в 1-й), в 3-й группе значимого эффекта не наблюдалось.

Подобные закономерности выявлены и в экспериментах с растительными клетками, если низкоинтенсивное лазерное излучение ГНЛ (633 нм) оказывает значительное стимулирующее действие на морфогенетические процессы (образование зон вторичной дифференцировки, ризогенез, регенерацию) в культуре ткани пшеницы, то некогерентный свет с такой же длиной волны практически не вызывает реакции клеток [3].

Обратим внимание ещё на одно обстоятельство. Достаточно часто именно СИД служат источниками света, имитирующими лазер в исследованиях с плацебо-контролем. Например, показано, что некогерентный свет не оказывает никакого влияния на больных героиновой наркоманией при выраженном эффекте после лазерного воздействия [19, 20].

Таким образом, *НЕ* лазерные источники света (лампы с фильтрами и без таковых, СИД с поляризатором или без них, и пр.) из-за их минимальной эффективности категорически нельзя применять в *лазерной* терапии. Очевидно, что СИД имеют свою нишу в обширной области светолечения, например, они весьма успешно используются в фотодинамической терапии, УФ СИД оказывают хорошее бактерицидное действие, однако ожидать от них клинических эффектов, аналогичных тем, что получены именно в *лазерной терапии* с использованием *лазерного* света (НИЛИ), не следует.

Лазерная терапия – только лазерами!

Литература

1. Будаговский А.В. О способности клеток различать когерентность оптического излучения // Квантовая электроника. 2005. Т. 35, № 4. С. 369–374.
2. Дубровский В.А., Гусев В.В., Астафьева О.Г. О роли физических характеристик лазерного излучения в поглощении света гемосодержащими биологическими молекулами // Биофизика. 1982. Т. 27, № 5. С. 908–909.

3. Дударева Л.В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы роста и развития в растительной ткани: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2004. 23 с.
4. Залесская Г.А., Ласкина О.В., Митьковская Н.П. Сравнительный анализ характеристик фотомодификации крови пациентов, в комплексное лечение которых включалось лазерное и нелазерное облучение крови // *Материалы XXXX межд. научно-практ. конф. «Применение лазеров в медицине и биологии»*. Ялта, 2013. С. 137–139.
5. Иванченко Л.П., Коздоба А.С., Москвин С.В. Лазерная терапия в урологии. М.–Тверь: Триада, 2009. 132 с.
6. Кару Т.И., Календо Г.С., Летохов В.С. Действие низкоинтенсивного видимого излучения медного лазера на культуру клеток HeLa // *Квантовая электроника*. 1982. Т. 9, № 1. С. 141–144.
7. Кару Т.И., Календо Г.С., Летохов В.С., Лобко В.В. Зависимость биологического действия низкоинтенсивного видимого света на клетки HeLa от когерентности, дозы, длины волны и режима облучения // *Квантовая электроника*. 1982(1). Т. 9, № 9. С. 1761–1767.
8. Кару Т.И., Календо Г.С., Летохов В.С., Лобко В.В. Зависимость биологического действия низкоинтенсивного видимого света на клетки HeLa от когерентности, дозы, длины волны и режима облучения. II. // *Квантовая электроника*. 1983. Т. 10, № 9. С. 1771–1776.
9. Кольцов Ю.В., Королев В.Н. Накачка биологических объектов модулируемым по амплитуде инжекционным лазером // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 1998. № 4. С. 40–48.
10. Кочетков А.В., Москвин С.В., Карнеев А.Н. Лазерная терапия в неврологии. М.–Тверь: Триада, 2012. 360 с.
11. Лазерная терапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах: клинические рекомендации. М., 2015. 80 с.
12. Лобко В.В., Кару Т.И., Летохов В.С. Существенна ли когерентность низкоинтенсивного лазерного света при его воздействии на биологические объекты // *Биофизика*. 1985. Т. 30, № 2. С. 366–371.
13. Москвин С.В. К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) // *Вестник новых медицинских технологий*. 2008. № 1. С. 167–172.
14. Москвин С.В. Лазеротерапия как современный этап гелиотерапии (исторический аспект) // *Лазерная медицина*. 1997. Т. 1. Вып. 1. С. 44–49.
15. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. М.: Техника, 2003. 256 с.
16. Москвин С.В., Амирханян А.Н. Методы комбинированной и сочетанной лазерной терапии в стоматологии. М.–Тверь: Триада, 2011. 208 с.
17. Москвин С.В., Наседкин А.Н., Осин А.Я., Хан М.А. Лазерная терапия в педиатрии. М.: ЭКС-МО, 2010. 479 с.
18. Муфагед М.Л., Иванченко Л.П., Москвин С.В., Коздоба А.С., Филлер Б.Д. Лазерная терапия в урологии. Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2007. 132 с.
19. Наседкин А.А. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении больных героиновой наркоманией подростково-юношеского возраста: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2004. 24 с.
20. Наседкин А.А., Москвин С.В. Лазерная терапия больных героиновой наркоманией. Тверь: Триада, 2004. 48 с.
21. Наседкин А.Н., Москвин С.В. Лазерная терапия в оториноларингологии. М.–Тверь: Триада, 2011. 208 с.
22. Плавский В.Ю., Барулин Н.В. Фотофизические процессы, определяющие биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2009. № 6. С. 23–40.
23. Рамдоял С. Лазерная дородовая профилактика первичной слабости родовой деятельности при позднем гестозе: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 1990. 19 с.
24. Серов В.Н., Кожин А.А., Жуков В.В., Хусаинова И.С. Лазерная терапия эндокринологической гинекологии. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1988. 120 с.
25. Серов В.Н., Силантьева Е.С., Ипатов М.В., Жаров Е.В. Безопасность физиотерапии у гинекологических больных // *Акушерство и гинекология*. 2007. № 3. С. 74–76.
26. Федорова Т.А., Москвин С.В. Аполихина И.А. Лазерная терапия в акушерстве и гинекологии. М.–Тверь: Триада, 2009. 352 с.
27. Чудновский В.М. Лазерная биостимуляция: модели и механизмы: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток, 2002. 46 с.
28. Al-Watban F.A.H., Zhang X.-Y. Stimulative and inhibitory effects of low incident levels of argon laser energy on wound healing // *Laser Therapy*. 1995. № 7(1). P. 11–18.
29. Bang S. Om fordelingen af bakteriedrøbendestraaler i kulbuelysesspektrum. – *Meddelelser fra Finsens Medicinske Lysinstitut*, 1904. № 9. P. 123–135.

30. Berki T., Németh P., Hegedüs J. Biological effect of low-power helium-neon (He-Ne) laser irradiation // *Lasers in Medicine Science*. 1988. Vol. 3 (1). P. 35–39.
31. Berki T., Nemeth P., Hegedus J. Effect of low power, continuous wave He-Ne laser irradiation on in vivo cultured lymphatic cell lines and macrophages // *Stud. biophys.* 1985. Vol. 105 (3). P. 141–148.
32. Bie V. Om Lysets virkning paa Bakterier, Eksperimentielle Undersøgelser. – Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag, 1903. P. 43–178.
33. ВиеV. Применение света в медицине. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер), 1906. 71 с.
34. Bihari I., Mester A.R. The biostimulative effect of low level laser therapy of long-standing crural ulcer using helium-neon laser, helium-neon plus infrared laser and non coherent light: preliminary report of a randomized double blind comparative study // *Laser Therapy*. 1989. Vol. 1 (2). P. 97–98.
35. Boulton M., Marshall J. He-Ne laser stimulation of human fibroblast proliferation and attachment in vitro // *Lasers in The Life Science*. 1986. Vol. 1 (2). P. 125–134.
36. Chung H., Dai T., Sharma S.K. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy // *Ann. Biomed. Eng.* 2012. Vol. 40 (2). P. 516–533.
37. Corazza A.V., Jorge J., Kurachi C., Bagnato V.S. Photobiomodulation on the angiogenesis of skin wounds in rats using different light sources // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2007. № 25(2). P. 102–106. doi:10.1089/pho.2007.2011.
38. Craig J.A., Barlas P., Baxter G.D. Delayed-onset muscle soreness: lack of effect of combined phototherapy/low-intensity laser therapy at low pulse repetition rates // *J Clin Laser Med Surg*. 1996. Vol. 14 (6). P. 375–380.
39. de Brito Vieira W.H., Bezerra R.M., Queiroz R.A.S. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2014. №32(12). P. 678–685. DOI: 10.1089/pho.2014.3812
40. de Sousa A.P.C., Paraguassú G.M., Silveira N.T.T. Laser and LED phototherapies on angiogenesis // *Lasers in Medical Science*. 2013. № 28(3). P. 981–987.
41. Demidova-Rice T.N., Salomatina E.V., Yaroslavsky A.N. Low-level light stimulates excisional wound healing in mice // *Lasers Surg. Med.* 2007. Vol. 39 (9). P. 706–715.
42. Enwemeka C.S. Light is light // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005. Vol. 23 (2). P. 159–160.
43. Enwemeka C.S. Low level laser therapy is not low // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005. Vol. 23 (6). P. 529–530.
44. Enwemeka C.S. The place of coherence in light induced tissue repair and pain modulation // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2006. № 24(4). P. 457–457.
45. Finsen N.R. Om Anvendelse i Medicinenaf Koncentrerede Kemiske Lysstraaler. Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag, 1896. P. 5–52.
46. Finsen N.R. Ueber die Anwendung von concentrirten chemischen Lichtstrahlen in der Medicin. Leipzig, F.C.W. Vogel, 1899. 52 p.
47. Finsen N.R. Светолечение. СПб., 1901. 39 с.
48. Haina D. Animal experiments on light-induced woundhealing // *Biophysica Berlin*. 1973. Vol. 35 (3). P. 227–230.
49. Kubota J., Ohshiro T. The effects of diode laser low reactive-level lasertherapy (LLLT) on flap survival in a rat model // *Laser Therapy*. 1989. Vol. 1 (3). P. 127–133.
50. Laakso E.L., Gramond T., Richardson C., Galligan J.P. Plasma ASTH and β -endorphin levels in response to low level laser therapy (LLLT) for myofascial trigger points // *Lasers Therapy*. 1994. Vol. 6 (3). P.133–141.
51. Liu T.C.Y., Cheng L., Su W.J. Randomized, double-blind, and placebo-controlled clinic report of intranasal low-intensity laser therapy on vascular diseases // *International Journal of Photoenergy*. 2012. Article-ID 489713, 5 pages, doi:10.1155/2012/489713.
52. Liu T.C.Y., Wu D.F., Gu Z.Q., Wu M. Applications of intranasal low intensity laser therapy in sports medicine // *Journal of Innovation in Optical Health Science*. 2010. № 3(1). P. 1–16.
53. Lubart R., Friedman H., Levinshal T. Effect of light on calcium transport in bull sperm cells // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1992. Vol. 15 (4). P. 337–341.
54. Lubart R., Friedmann H., Peled I., Grossman N. Light effect on fibroblast proliferation // *Laser Therapy*. 1993. Vol. 5 (2). P. 55–57.
55. Møller K.I., Kongshøj B., Philipsen P.A. How Finsen's Light Cured Lupus Vulgaris // *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2005. № 21. P. 118–124.
56. Niels Ryberg Finsen - Facts. Nobelprize.org. Nobel Media AB; 2014. Available from: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1903/finsen-facts.html.
57. Ohshiro T., Calderhead R.G. Low level laser therapy: A practical introduction. Chichester–New-York–Brisbane–Toronto–Singapore, John Wiley&Sons, 1988. 141 p.

58. Pizzo R.C.A., Speciali J.G., Dach F. LEDytherapy for TMJ and cervicogenic headache treatment // Conference WALT. Abstracts. Bergen, Norway, 2010. №1. P. 62.
59. Pöntinen P. The effect of hair lasers on skin blood flow // *Lasers in Surgery and Medicine*. 1995. Vol.5 (1). P. 9.
60. Rieder H. Luft- und Lichttherapie. 1911.
61. Rieder H. Светолечение. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер), 1902. 82 с.
62. Rochkind S., Nissan M., Lubart R. A single transcutaneous light irradiation to injured peripheral nerve: comparative study with five different wavelengths // *Lasers in Medicine Science*. 1989. Vol. 4 (3). P. 259–263.
63. Thunshelle C., Hamblin M.R. Transcranial low-level laser (light) therapy for brain injury // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2016. № 34(12). P. 587–598.
64. Vinck E.M., Cagnie B.J., Cornelissen M.J. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation // *Lasers Med. Sci*. 2003. Vol. 18 (2). P. 95–99.
65. Zigmund E., Varol C., Kaplan M. Low-level light therapy induces mucosal healing in a murine model of dextran-sodium-sulfate induced colitis // *Photomedicine and Laser Surgery*. 2014. № 32(8). P. 450–457.

References

1. Budagovskiy AV. O sposobnosti kletok razlichat' kogerentnost' opticheskogo izlucheniya [On the ability of cells to distinguish the coherence of optical radiation]. *Kvantovaya elektronika*. 2005;35(4):369-74. Russian.
2. Dubrovskiy VA, Gusev VV, Astaf'eva OG. O roli fizicheskikh kharakteristik lazernogo izlucheniya v pogloshchenii sveta gemosoderzhashchimi biologicheskimi molekulami [On the role of the physical characteristics of laser radiation in the absorption of light by hemo-containing biological molecules]. *Biofizika*. 1982;27(5):908-9. Russian.
3. Dudareva LV. Vliyaniye nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na protsessy rosta i razvitiya v rastitel'noy tkani [Influence of low-intensity laser radiation on the processes of growth and development in plant tissue] [dissertation]. Irkutsk (Irkutsk region); 2004. Russian.
4. Zalesskaya GA, Laskina OV, Mit'kovskaya NP. Sravnitel'nyy analiz kharakteristik foto-modifikatsii krovi patsientov, v kompleksnoe lechenie kotorykh vklyuchalos' lazernoe i nelazernoe oblucheniye krovi. [Comparative analysis of the characteristics of the photo-modification of the blood of patients whose combined treatment included laser and non-laser irradiation of blood] *Materialy XXXX mezhd. nauchno-prakt. konf. «Primeneniye lazerov v meditsine i biologii»*. Yalta; 2013. Russian.
5. Ivanchenko LP, Kozdoba AS, Moskvina SV. Lazernaya terapiya v urologii [Laser therapy in urology]. Moscow–Tver': Triada; 2009. Russian.
6. Karu TY, Kalendo GS, Letokhov VS. Deystvie nizkointensivnogo vidimogo izlucheniya mednogo lazera na kul'turu kletok HeLa [Effect of low-intensity visible radiation of a copper laser on the culture of HeLa cells]. *Kvantovaya elektronika*. 1982;9(1):141-4. Russian.
7. Karu TY, Kalendo GS, Letokhov VS, Lobko VV. Zavisimost' biologicheskogo deystviya nizkointensivnogo vidimogo sveta na kletki HeLa ot kogerentnosti, dozy, dliny volny i rezhima oblucheniya [Dependence of the biological effect of low-intensity visible light on HeLa cells on coherence, dose, wavelength, and irradiation regime]. *Kvantovaya elektronika*. 1982;9(9):1761-7. Russian.
8. Karu TY, Kalendo GS, Letokhov VS, Lobko VV. Zavisimost' biologicheskogo deystviya nizkointensivnogo vidimogo sveta na kletki HeLa ot kogerentnosti, dozy, dliny volny i rezhima oblucheniya [Dependence of the biological effect of low-intensity visible light on HeLa cells on coherence, dose, wavelength, and irradiation regime]. II. *Kvantovaya elektronika*. 1983;10(9):1771-6. Russian.
9. Kol'tsov YuV, Korolev VN. Nakachka biologicheskikh ob'ektov moduliruemykh po amplitude inzhetsionnykh lazerom [Pumping of biological objects with an amplitude-modulated injection laser]. *Biomeditsinskaya radioelektronika*. 1998;4:40-8. Russian.
10. Kochetkov AV, Moskvina SV, Karneev AN. Lazernaya terapiya v nevrologii [Laser therapy in neurology]. Moscow–Tver': Triada; 2012. Russian.
11. Lazernaya terapiya v lechenno-reabilitatsionnykh i profilakticheskikh programmakh: klinicheskie rekomendatsii [Laser therapy in treatment and rehabilitation and prevention programs]. Moscow; 2015. Russian.
12. Lobko VV, Karu TI, Letokhov VS. Sushchestvenna li kogerentnost' nizkointensivnogo lazernogo sveta pri ego vozdeystvii na biologicheskie ob'ekty [Is the coherence of low-intensity laser light essential when it affects biological objects]. *Biofizika*. 1985;30(2):366-71. Russian.
13. Moskvina SV. K voprosu o mekhanizmaxh terapevticheskogo deystviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya (NILI) [To the question of the mechanisms of therapeutic action of low-intensity laser radiation (LI-LI)]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2008;1:167-72. Russian.

14. Moskvina SV. Lazeroterapiya kak sovremennyy etap gelioterapii (istoricheskiy aspekt) [Laser therapy as a modern stage of heliotherapy (historical aspect)]. *Lazernaya meditsina*. 1997;1(1):44-9. Russian.
15. Moskvina SV. Effektivnost' lazernoy terapii [The effectiveness of laser therapy]. Moscow: Tekhnika; 2003. Russian.
16. Moskvina SV, Amirkhanyan AN. Metody kombinirovannoy i sochetannoy lazernoy terapii v stomatologii [Combined and combined laser therapy in dentistry]. Moscow–Tver': Triada; 2011. Russian.
17. Moskvina SV, Nasedkin AN, Osin AY, Khan MA. Lazernaya terapiya v pediatrii [Laser therapy in pediatrics]. Moscow: EKS-MO; 2010. Russian.
18. Mufaged ML, Ivanchenko LP, Moskvina SV, Kozdoba AS, Filler BD. Lazernaya terapiya v urologii [Laser therapy in urology]. Tver': OOO «Izdatel'stvo «Triada»; 2007. Russian.
19. Nasedkin AA. Primenenie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya v kompleksnom lechenii bol'nykh geroinovoy narkomaniy podrostkovo-yunosheskogo vozrasta [Application of low-intensity laser radiation in the complex treatment of patients with heroin addiction of adolescent youth] [dissertation]. Moscow (Moscow region); 2004. Russian.
20. Nasedkin AA, Moskvina SV. Lazernaya terapiya bol'nykh geroinovoy narkomaniy [Laser therapy of patients with heroin addiction]. Tver': Triada; 2004. Russian.
21. Nasedkin AN, Moskvina SV. Lazernaya terapiya v otorinolaringologii [Laser therapy in otorhinolaryngology]. Moscow–Tver': Triada; 2011. Russian.
22. Plavskiy VY, Barulin NV. Fotofizicheskie protsessy, opredelyayushchie biologicheskuyu aktivnost' opticheskogo izlucheniya nizkoy intensivnosti [Photophysical processes that determine the biological activity of low-intensity optical radiation]. *Biomeditsinskaya radioelektronika*. 2009;6:23-40. Russian.
23. Ramdoyal S. Lazernaya dorodovaya profilaktika pervichnoy slabosti rodovoy deyatel'nosti pri pozdnem gestoze [Laser prenatal prophylaxis of primary weakness of labor at late gestosis] [dissertation]. Volgograd (Volgograd region); 1990. Russian.
24. Serov VN, Kozhin AA, Zhukov VV, Khusainova IS. Lazernaya terapiya endokrinologicheskoy ginekologii [Laser therapy of endocrinological gynecology]. Rostov-na-Donu: Izd-vo Rostovskogo un-ta; 1988. Russian.
25. Serov VN, Silant'eva ES, Ipatova MV, Zharov EV. Bezopasnost' fizioterapii u ginekologicheskikh bol'nykh [Safety of physiotherapy in gynecological patients]. *Akusherstvo i ginekologiya*. 2007;3:74-6. Russian.
26. Fedorova TA, Moskvina SV, Apolikhina IA. Lazernaya terapiya v akusherstve i ginekologii [Laser therapy in obstetrics and gynecology]. Moscow–Tver': Triada; 2009. Russian.
27. Chudnovskiy VM. Lazernaya biostimulyatsiya: modeli i mekhanizmy [Laser biostimulation: models and mechanisms] [dissertation]. Vladivostok (Vladivostok region); 2002. Russian.
28. Al-Watban FAH, Zhang X-Y. Stimulative and inhibitory effects of low incident levels of argon laser energy on wound healing. *Laser Therapy*. 1995;7(1):11-8.
29. Bang S. Om fordelingen af bakteriedrøbendestraaler i kulbue lysetspektrum. – Meddelelse fra Finsens Medicinske Lysinstitut; 1904;9:123-35.
30. Berki T, Németh P, Hegedüs J. Biological effect of low-power helium-neon (He-Ne) laser irradiation. *Lasers in Medicine Science*. 1988;3 (1):35-9.
31. Berki T, Németh P, Hegedüs J. Effect of low power, continuous wave He-Ne laser irradiation on in vivo cultured lymphatic cell lines and macrophages. *Stud. biophys*. 1985;105 (3):141-8.
32. Bie V. Om Lysets virkning paa Bakterier, Eksperimentielle Undersøgelser. Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag; 1903.
33. Bie V. Применение света в медицине. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер); 1906.
34. Bihari I, Mester AR. The biostimulative effect of low level laser therapy of long-standing crural ulcer using helium-neon laser, helium-neon plus infrared laser and non coherent light: preliminary report of a randomized double blind comparative study. *Laser Therapy*. 1989;1 (2):97-8.
35. Boulton M, Marshall J. He-Ne laser stimulation of human fibroblast proliferation and attachment in vitro. *Lasers in The Life Science*. 1986;1 (2):125-34.
36. Chung H, Dai T, Sharma SK. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann. Biomed. Eng.* 2012;40 (2):516-33.
37. Corazza AV, Jorge J, Kurachi C, Bagnato VS. Photobiomodulation on the angiogenesis of skin wounds in rats using different light sources. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2007;25(2):102-6. doi:10.1089/pho.2007.2011.
38. Craig JA, Barlas P, Baxter GD. Delayed-onset muscle soreness: lack of effect of combined phototherapy/low-intensity laser therapy at low pulse repetition rates. *J Clin Laser Med Surg*. 1996;14 (6):375-80.
39. de Brito Vieira WH, Bezerra RM, Queiroz RAS. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2014;32(12):678-85. DOI: 10.1089/pho.2014.3812

40. de Sousa APC, Paraguassú GM, Silveira NTT. Laser and LED phototherapies on angiogenesis. *Lasers in Medical Science*. 2013;28(3):981-7.
41. Demidova-Rice TN, Salomatina EV, Yaroslavsky AN. Low-level light stimulates excisional wound healing in mice. *Lasers Surg. Med*. 2007;39 (9):706-15.
42. Enwemeka CS. Light is light. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005;23 (2):159-60.
43. Enwemeka CS. Low level laser therapy is not low. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2005;23 (6):529-30.
44. Enwemeka CS. The place of coherence in light induced tissue repair and pain modulation. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2006;24(4):457-7.
45. Finsen NR. Om Anvendelse i Medicinenaf Koncentrerede Kemiske Lysstraaler. Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag; 1896:5-52.
46. Finsen NR. Ueber die Anwendung von concentrirten chemischen Lichtstrahlen in der Medicin. Leipzig, F.C.W. Vogel; 1899.
47. Finsen NR. Светолечение. СПб.; 1901.
48. Haina D. Animal experiments on light-induced woundhealing. *Biophysica Berlin*. 1973;35 (3):227-30.
49. Kubota J, Ohshiro T. The effects of diode laser low reactive-level lasertherapy (LLLT) on flap survival in a rat model. *Laser Therapy*. 1989;1 (3):127-33.
50. Laakso EL, Gramond T, Richardson C, Galligan JP. Plasma ASTH and β -endorphin levels in response to low level laser therapy (LLLT) for myofascial trigger points. *Lasers Therapy*. 1994;6 (3):133-41.
51. Liu TCY, Cheng L, Su WJ. Randomized, double-blind, and placebo-controlled clinic report of intranasal low-intensity laser therapy on vascular diseases. *International Journal of Photoenergy*. 2012. ArticleID 489713, 5 pages, doi:10.1155/2012/489713.
52. Liu TCY, Wu DF, Gu ZQ, Wu M. Applications of intranasal low intensity laser therapy in sports medicine. *Journal of Innovation in Optical Health Science*. 2010;3(1):1-16.
53. Lubart R, Friedman H, Levinshal T. Effect of light on calcium transport in bull sperm cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 1992;15 (4):337-41.
54. Lubart R, Friedmann H, Peled I, Grossman N. Light effect on fibroblast proliferation. *Laser Therapy*. 1993;5 (2):55-7.
55. Møller KI, Kongshoj B, Philipsen PA. How Finsen's Light Cured Lupus Vulgaris. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2005;21:118-24.
56. Niels Ryberg Finsen - Facts. Nobelprize.org. Nobel Media AB; 2014. Available from: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1903/finsen-facts.html.
57. Ohshiro T, Calderhead RG. Low level laser therapy: A practical introduction. Chichester–New-York–Brisbane–Toronto–Singapore, John Wiley&Sons; 1988.
58. Pizzo RCA, Speciali JG, Dach F. LEDytherapy for TMJ and cervicogenic headache treatment. Conference WALT. Abstracts. Bergen, Norway. 2010;1:62.
59. Pöntinen P. The effect of hair lasers on skin blood flow. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1995;5(1):9.
60. Rieder H. Luft- und Lichttherapie; 1911.
61. Rieder H. Светолечение. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер); 1902.
62. Rochkind S, Nissan M, Lubart R. A single transcutaneous light irradiation to injured peripheral nerve: comparative study with five different wavelengths. *Lasers in Medicine Science*. 1989;4 (3):259-63.
63. Thunshelle C, Hamblin MR. Transcranial low-level laser (light) therapy for brain injury. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2016;34(12):587-98.
64. Vinck EM, Cagnie BJ, Cornelissen MJ. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. *Lasers Med. Sci*. 2003;18 (2):95-9.
65. Zigmond E, Varol C, Kaplan M. Low-level light therapy induces mucosal healing in a murine model of dextran-sodium-sulfate induced colitis. *Photomedicine and Laser Surgery*. 2014;32(8):450-7.

Библиографическая ссылка:

Москвин С.В. Можно ли для лазерной терапии применять светоизлучающие диоды? // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №2. Публикация 3-2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-2/3-2.pdf> (дата обращения: 26.04.2017). DOI: 10.12737/article_5909a3c0e5f805.90833502.