



**МОСКВИН**  
**Сергей Владимирович**

*Д.б.н., к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» Федерального медико-биологического агентства России, Москва*

## Можно ли заменить лазеры для терапии нелазерными источниками света?

*В чем разница между когерентными и некогерентными источниками света и почему монохроматичность важна в клинической практике?*

**Л**азерная терапия (ЛТ), или в английской терминологии low-level laser therapy (LLLT), — метод лечения, появившийся в конце 1960-х гг. в странах Восточной Европы и получивший затем наибольшее развитие в СССР [1], в настоящее время находит все большее признание и в других странах мира. Результаты многочисленных исследований закономерностей биомодулирующего действия (БД) низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) легли в основу этого метода, широко используемого как в ветеринарии, так и медицине: урологии,

неврологии, стоматологии, педиатрии, оториноларингологии, гинекологии и др. [2–8].

Казалось бы, вопрос, вынесенный в заглавие статьи, абсолютно риторический, разве допустимо для **лазерной** терапии использовать **нелазерные** источники света? Тем не менее проблема существует и становится с каждым днем все актуальнее. Особенно это касается косметологии и дерматологии, где фототерапия с использованием ламп достаточно успешно применялась задолго до появления лазеров.



### АБСТРАКТ

Споры вокруг исключительности лазерного света, степени влияния когерентности, поляризованности и монохроматичности на эффективность лазерной физиотерапии все еще продолжаются. В косметологической практике достаточно часто приходится сталкиваться с использованием светоизлучающих диодов и ламп, и нередко под видом лазеров. В статье проанализированы публикации, в которых сравниваются лазерные и обычные источники света, и сделаны следующие выводы. Во многих работах встречаются некорректные сравнения методов или голословные утверждения. Часто происходит подмена лазеров некогерентными источниками света. Вместе с тем, если используются близкие параметры воздействия и модели, то следует бесспорный вывод — лазерный свет намного эффективнее. Однозначно установлено, что самым важным параметром, который определяет эффективность лазеров, является монохроматичность.



**Ключевые слова:** лазерная терапия, монохроматичность, НИЛИ в косметологии

Дело в том, что термин LLLT изначально был сформулирован именно для лазеров [9]. Однако все чаще эту аббревиатуру стали расшифровывать как low level laser (light) therapy [10, 11], или вообще заменять слово laser на light как синонимы [12], **бездоказательно** декларируя якобы отсутствие различий [13], руководствуясь «благими» намерениями — чтобы «не путаться» [14].

Мотивация таких действий весьма и весьма странная: «Как лазерный, так и обычный свет — это фотоны, свет есть свет, поэтому нет никакой разницы» [13, 15]. Пока непонятно, то ли из-за незнания фактического материала, то ли в результате намеренных действий делаются подобные заявления. Тогда почему бы не использовать отбойный молоток вместо скальпеля при проведении хирургической операции только на том основании, что оба инструмента изготовлены из железа? Попробуем разобраться, чем чревата такая подмена.

## ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО СВЕТА

Основное отличие лазерного света — **монохроматичность**. Это означает, что в спектре условно есть 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 фототерапии.

Еще в XIX в. были известны лечебные свойства «концентрированного» света. Имелась в виду выделенная светофильтром узкая часть из всего спектрального диапазона излучения лампы, например ультрафиолетовое излучение (УФ), синяя или красная области. Это открытие легло в основу нового направления медицины — свето-, или фототерапии. А в 1903 г. Н.Р. Финсену 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;
- задать оптимальные параметры — мощность светового потока, площадь воздействия, экспозицию [16–23].

Еще одно отличие лазерного света состоит в том, что он **позволяет задавать и контролировать световую энергию без потерь, распределять ее по поверхности**

---

*Лазеры оказались не только удобным, но и принципиально более эффективным инструментом лечебного воздействия, чем другие источники света, в итоге появилось качественно новое направление фототерапии — лазерная терапия [1].*

---

**и доставлять в нужное место.** Это происходит проще, чем в случае обычной лампы с цветным фильтром.

Прежде всего необходимо разобраться в технических вопросах, в частности, сравнить спектры различных источников света и их режимы работы.

Обратим внимание 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, вследствие чего их необходимо рассматривать независимо.

- **Пространственная когерентность** — это расстояние, на котором световой поток остается когерентным, не влияет на эффективность биомодуляции хотя бы потому, что исчезает почти сразу в верхних слоях кожи.
- **Временная когерентность** — по сути своей **монохроматичность**, сохраняется вплоть до полного поглощения света в биотканях.

---

*Самым важным параметром, который определяет эффективность лазеров, является монохроматичность, у лазеров существенно более узкая ширина спектра, чем у всех других источников света.*

---

## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА БИОМОДУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА

### Поляризация

Роль поляризации в эффектах биомодулирующего действия (БД) мы детально рассматривать не будем, хотя есть все основания утверждать, что для лазерных источников ее вклад в общий результат невелик. Но вот при использовании широкополосных источников света она исключительно важна, поэтому с лампочками часто используют устройства для поляризации светового потока (поляризаторы).

### Когерентность

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 «когерентность» или нет (совсем). Необходимо в конкретных цифрах оценить значения ширины спектральной линии для правильной интерпретации экспериментальных данных, перейти от качественных оценок к количественным.

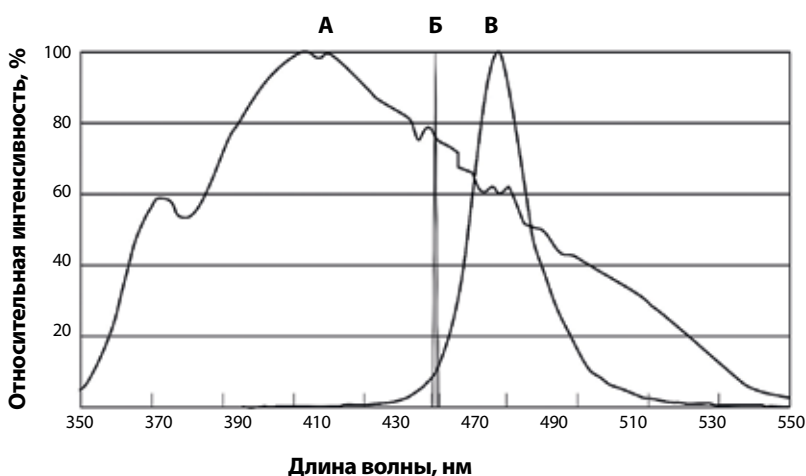
Современные технические средства варьирования шириной спектральной линии с контролем точного значения этого показателя позволяют успешно проводить экспериментальные работы в данном направлении. Чаще всего сравнивают БД лазерных (или светодиодных) с тепловыми или газоразрядными источниками света (лампами). У последних с помощью различных монохроматоров (интерференционных светофильтров, дифракционных решеток 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. [24–27].

На рис. 1 приведены в сравнении спектры лампы со специальным светофильтром, светоизлучающего диода и лазерного диода. Первый график (А) — результат измерения спектра устройств, которые использовал Н.Р. Финсен, и взятых в музее его имени [28], типовые спектры светоизлучающих диодов (В) и лазерных диодов (Б) приведены из каталогов компаний NICHIA и OSRAM соответственно. У светоизлучающих диодов (СИД) спектр уже, чем у старинных ламп, но он не идет ни в какое сравнение с шириной спектральной линии лазерных диодов, поскольку это практически одна длина волны!

## СВЕТ ЛАЗЕРА И НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ — КАК ОТЛИЧИТЬ?

В связи с этим фактом приходится упоминать об откровенном мошенничестве (будем называть вещи своими именами), когда для лечения предлагается обычная светодиодная лампочка без всякого фильтра, причем в качестве ее 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, ... и находится в диапазоне от 480 до 3400 нм» [29]. 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,



**Рис. 1.** Спектры лампы Финсена со специальным светофильтром (А), лазерного диода PL 450B OSRAM (Б) и светоизлучающего диода NHSBo46AT NICHIA (В)

которая обойдется в сотни (!) раз дешевле. Результат же «лечения» будет идентичен.

Как отличить лазер от СИД (англ. *light emitting diode* — LED)?

**1. По световому пятну.** У светоизлучающего диода (некогерентного источника света) оно круглое и однородное, у лазерного диода — эллипс с характерной зернистостью, т.н. спекл-структурой.

**2. По режимам работы,** из которых известны 2 основных — непрерывный и импульсный.

**Есть импульсные лазерные диоды, но импульсных СИД не существует.**

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) в непрерывном режиме чаще всего используется с такими целями:

- лазерная акупунктура (длина волны 635 нм, мощность 2–3 мВт);
- внутривенное лазерное освечивание крови (ВЛОК) (длина волны 365, 405, 445, 525 и 635 нм, мощность от 2 до 20 мВт);
- местное воздействие, когда очаг поражения локализован близко к поверхности (различные длины волн, мощность от 10 до 200 мВт).

Некогерентный свет СИД также иногда используется с этими целями, хотя и со значительно 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 ее часто путают с импульсным режимом.

Уточним, о чем идет 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 методах всегда необходимо указывать частоту повторения импульсов, поскольку пропорционально ей меняется средняя мощность. При импульсной мощности 10–15 Вт и частоте 80–150 Гц (такие параметры чаще всего используются для инфракрасного НИЛИ, 904 нм) средняя мощность составит приблизительно 0,1 мВт, что в 100–1000 раз меньше, чем мощность, используемая для непрерывных источников света. То есть лазерный свет в импульсном режиме в 100–1000 раз эффективнее используется для инициирования сходных по силе реакций биологических систем на воздействие, чем непрерывный. Но поскольку импульсных СИД не существует, следовательно, невозможно достичь и такой эффективности.

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

- неинвазивное лазерное освечивание крови (НЛОК);
- воздействие на глуболежащие 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 методика, в которой локализация мотивируется близким расположением к поверхности капилляров, хотя и отмечается опосредованная роль нервной системы [30, 31].

Мы много раз писали, что освечивание 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. [32–34]. Такое воздействие является исключительно опосредованным 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 в нашей стране волнует проблема перенаселения, которую успешно решают китайцы, в т.ч. активным распространением такой методики.

## ЛАЗЕР ИЛИ СИД — ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА

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 «LLLT», обосновывая свои действия именно отсутствием специфичности лазерного света и его особой эффективности.

Например, Чанг Х. (Chung H.) и соавт. [35] в своем 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 если их аппараты столь эффективны, то зачем лазер вообще упоминать и пользоваться чужим брендом? Проведите свои исследования, покажите результат, назовите все это как-нибудь красиво, например «СИД-терапия», «LED-терапия» или, как остроумно предложили Пиццо Р.С.А. (Pizzo R.C.A.) и соавт. [36], «LEDytherapy», и развивайте как новое направление. Почему так не поступить? Ответ на этот вопрос очевиден: малозначительность или отсутствие эффекта от некогерентных источников света. Все понимают, что бренд «СИД-терапии» быстро сойдет на нет, если не «прикроется» высокоэффективной лазерной терапией, заодно ее дискредитируя.

### О КОРРЕКТНОСТИ СРАВНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО И НЕЛАЗЕРНОГО СВЕТА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Всем понятно, что объективный вывод может позволить сделать только сравнительное исследование, в котором на одной экспериментальной или клинической модели при единстве всех составляющих метода 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 методов.

Например, совершенно непонятно, на каком основании Г.А. Залесская с соавт. [37] 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 методов, в частности длины волны, не учитывалось.

Приведем другой, еще более 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 зеленый свет СИД (570 нм) значительно лучше стимулирует деление клеток, чем красный (660 нм) и инфракрасный (950 нм), причем все СИД эффективнее, чем лазерный свет [38]. 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 3 группы с СИД, да и то с оговорками (**см. таблицу**).

Де Суза А.П.С. (de Sousa A.P.C.) и соавт. [39] сделали вывод, что свет СИД и лазерных диодов приблизительно в равной степени стимулирует ангиогенез у животных (крысы линии Вистар). Однако для НИЛИ выбраны **неоптимальные** параметры, например наименее эффективные длины волн, 660 и 790 нм, или концентрация световой энергии в точку, а не распределение ее по площади. Это привело к совершенно неприемлемой ПМ при необоснованно высокой мощности, к тому же экспозиция 168 и 200 с не оптимальна. Аналогичная ошибка была сделана и в более ранней работе [40].

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

В исследовании Демидова-Райс Т.Н. (Demidova-Rice T.N.) и 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

**Таблица.** Параметры используемых источников света в исследовании Винк Е.М. (Vinck E.M.) и соавт. [38]

ДЛИНА ВОЛНЫ, нм	МОЩНОСТЬ, мВт	ПЛОЩАДЬ, см <sup>2</sup>	ПМ, мВт/см <sup>2</sup>	ЭКСПОЗИЦИЯ, с	ЭП, Дж/см <sup>2</sup>
830 (лазер)	40	0,196	204	5	1
570 (СИД)	10	18	<b>0,56</b>	<b>180</b>	<b>0,1</b>
660 (СИД)	<b>160</b>	18	<b>8,89</b>	<b>60</b>	<b>0,53</b>
950 (СИД)	80	18	<b>4,44</b>	<b>120</b>	<b>0,53</b>



( $635 \pm 15$  нм), так и гелий-неонового лазера (ГНЛ) (633 нм,  $2 \text{ Дж/см}^2$ ), причина этого в совершенно неверно выбранном времени воздействия — 30 мин. При такой экспозиции, в разы превышающей предельно допустимый уровень, эффект должен отсутствовать независимо 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) [42].

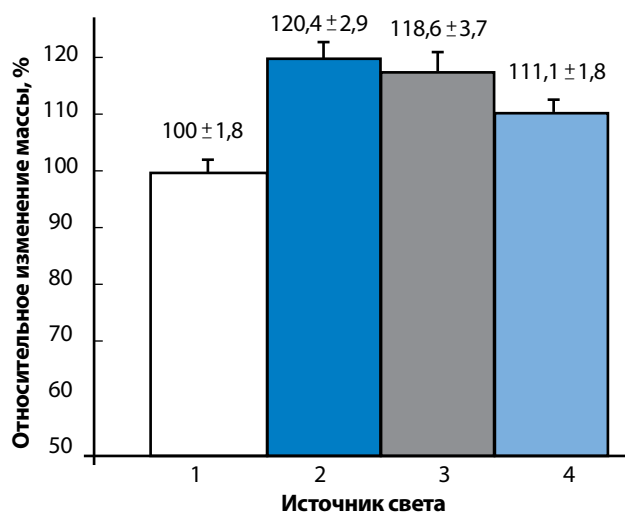
### СРАВНЕНИЕ БИОСТИМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ НИЛИ И СВЕТА НЕКОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Проверку биостимулирующих свойств НИЛИ и света некогерентных источников (деполяризованного с широким спектром) на различных моделях проводили многие исследователи, при этом результаты существенно различаются. Много, 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 Хэйна Д. (Haïna D.) и соавт. [43]. 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  $0,5 \text{ Дж/см}^2$  и на 22% при оптимальной ЭП  $1,5 \text{ Дж/см}^2$ , 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  $\Delta\lambda \approx 15\text{--}20$  нм, а при ширине спектральной полосы менее 3–5 нм дальнейшее сужение спектра почти не приводит к увеличению эффективности [44], что было подтверждено данными других авторов [45]. Приведем в качестве примера несколько исследований с известными значениями ширины спектральной линии источников света, подтверждающих наше мнение.

Эксперименты В.А. Дубровского и соавт. [46] 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



**Рис. 2.** Влияние степени монохроматичности поляризованного света (плотность мощности  $2,9 \text{ мВт/см}^2$ , экспозиция 60 с) при воздействии на оплодотворенную икру, на массу 50-дневной молоди осетровых рыб: 1 — контроль; 2 — ГНЛ ( $\lambda_{\text{max}} = 633 \text{ нм}$ ,  $\Delta\lambda = 0,02 \text{ нм}$ ); 3 — СИД ( $\lambda_{\text{max}} = 631 \text{ нм}$ ,  $\Delta\lambda = 15 \text{ нм}$ ); 4 — «белый» СИД ( $\lambda_{\text{max}1} = 453 \text{ нм}$ ,  $\Delta\lambda \approx 20 \text{ нм}$ ;  $\lambda_{\text{max}2} = 567 \text{ нм}$ ,  $\Delta\lambda \approx 130 \text{ нм}$ ) [46]

некогерентный свет с большей шириной спектра. Это преимущество НИЛИ авторы исследования связывают исключительно с тем, что коэффициент поглощения некогерентного света, усредненный по ширине спектра излучения лампы накаливания ( $\Delta\lambda \approx 10 \text{ нм}$ ), оказывается ниже соответствующего коэффициента для лазерного луча, определяемого, по существу, только для одной длины волны.

Плавский В.Ю. и Барулин Н.В. [47] наглядно продемонстрировали зависимость эффекта от ширины спектральной линии в результате воздействия на оплодотворенную икру осетровых рыб. Правда, в третьем варианте применяли т.н. белый СИД с длинами волн максимумов в другой области спектра, синей и зеленой (рис. 2).

### Исследования *in vitro*

Обычно в исследованиях сравнивают действие света когерентных (лазеров) и некогерентных источников. Работа Люберт Р. (Lubart R.) и соавт. [48] — одна из немногих, где обошлись без лазеров, изучая фотобиологическое действие света только от СИД с длиной волны 540 нм ( $\Delta\lambda \approx 5 \text{ нм}$ ) и лампы с фильтром в спектральном диапазоне 600–900 нм ( $\Delta\lambda \approx 300 \text{ нм}$ ), но она позволяет сделать интересные выводы. В первую очередь, мы находим подтверждение значимости такого относительного

показателя, как **спектральная ПМ**. 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) [48].

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 [49]. В этой работе, кстати, достаточно много говорится о роли  $Ca^{2+}$  в отклике живой клетки на ее освечивание.

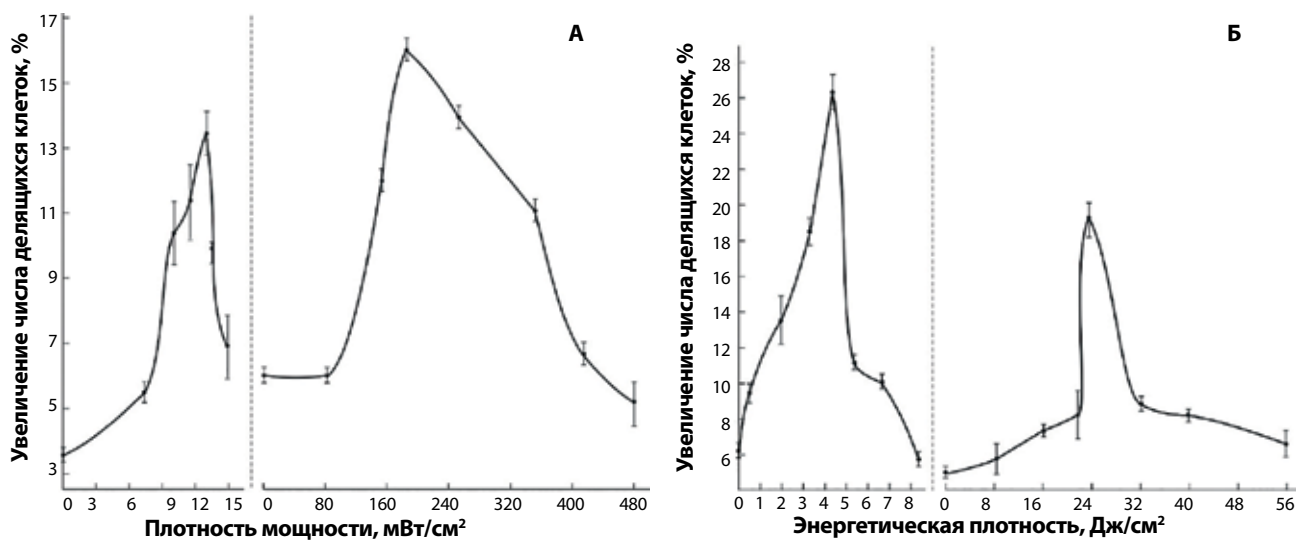
В экспериментах с культурой клеток (митотическая активность *Staphylococcus aureus*) практически не было выявлено различий в эффектах от НИЛИ одномодового с шириной спектральной линии менее 0,1 нм и многомодового с  $\Delta\lambda \approx 4$  нм диодных лазеров с одной длиной волны (1300 нм) [50]. В данном диапазоне значений этого показателя нет изменений при уменьшении ширины спектра, следовательно, не нужно стремиться к применению в ЛТ одномодовых, тем более одночастотных лазеров.

Кару Т.И. и соавт. [25] получили для культуры клеток HeLa *in vitro* 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  $\approx 14$  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  $0,003-0,03 \text{ с}^{-1}$  при плотности мощности НИЛИ в диапазоне 1-10 мВт/см<sup>2</sup>, в то же время скорость потери когерентности возбуждения за счет расфазировки волновых функций возбужденных состояний молекул в тех же условиях составляет порядка  $10^{11}-10^{12} \text{ с}^{-1}$ . Значимость ширины спектральной линии в достигаемом эффекте авторы напрямую связывают с эффективным сечением поглощения молекулы.

Бултон М. (Boulton M.) и соавт. [51], наблюдая усиление пролиферации фибробластов *in vitro* 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 мВт/см<sup>2</sup>, лазер работал в режиме модуляции ( $F = 100$  Гц,  $\tau_{\text{и}} \approx 3$  мс,  $Q = 3$ ), что не обеспечивает абсолютной корректности сравнения, поскольку лампа работала непрерывно.

Рочкинд С. (Rochkind S.) и соавт. [52] изучали терапевтическую эффективность света пяти различных длин волн при воздействии на периферические нервы.



**Рис. 3.** Стимулирование деления клеток в зависимости от плотности мощности (А) и энергетической плотности (Б) для СИД (слева),  $\lambda = 540 \pm 5$  нм и лампы с фильтром (справа),  $\lambda = 600-900$  нм [47]

Освечивание ГНЛ (633 нм) приводило к повышению функциональной активности поврежденного нерва, некогерентный свет (660 нм) оказался значительно менее эффективен, а воздействие инфракрасным (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 [53, 54].

### Исследования на животных

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/см<sup>2</sup>), т.е. на данной модели продемонстрирована полная неэффективность светодиодов [55].

Если лазерный свет (ГНЛ) существенно повышает жизнеспособность спермий морских ежей, голотурий и двусторчатых моллюсков, то СИД (850 нм) никакого влияния не оказывает [56].

Кубота Дж. (Kubota J.) и соавт. [57] на модели искусственного ушиба (крысы линии Вистар) показали, что после освечивания диодным лазером (830 нм) ушибленные ткани имели лучшую перфузию, большее число капилляров, существенно возростала скорость кровотока. Различий в показателях у крыс, которым проводили освечивание СИД (840 нм), и в контрольной группе не наблюдалось.

### Клинические исследования

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/см<sup>2</sup> на 4 зоны) и СИД (635 нм, ЭП 0,68–1,36 Дж/см<sup>2</sup>) показали, что лазерный свет приводит к усилению местного кровотока, тогда как излучение светодиодов вызывает обратный процесс [58].

Лааксо Е.Л. (Laakso E.L.) и соавт. [59] обследовали по методу двойного слепого контроля 56 пациентов с хроническим болевым синдромом, выявлено значительное повышение уровней адренкортикотропного гормона (АКТГ) и β-эндорфина в двух группах, получавших лазерную терапию (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 синдрома отсроченной мышечной боли у мужчин (660–950 нм, 31,7 Дж/см<sup>2</sup>, экспозиция 12 мин, в модулированном режиме, частоты 2,5; 5 и 20 Гц) оказалась абсолютно неэффективной [60]. Тут опять же следует сделать оговорку в отношении неоптимальной экспозиции.

Бихари И. (Bihari I.) и соавт. [61] проводили сравнительную оценку лечения (при двойном слепом контроле) трех групп пациентов с длительно незаживающими язвами нижних конечностей. В 1-й группе воздействовали излучением только ГНЛ, во 2-й — ГНЛ и диодным лазером, в 3-й — некогерентным и неполяризованным светом. У больных в 1-й и 2-й группах 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 [62].

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Достаточно часто именно СИД служат источниками света, которые имитируют 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 [63, 64].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, нелазерные источники света (лампы с фильтрами и без таковых, СИД с поляризатором или без него) из-за их минимальной эффективности категорически нельзя применять в **лазерной** терапии. Очевидно, что светоизлучающие диоды имеют свою нишу в обширной области светолечения, например, они весьма успешно используются в фотодинамической терапии, а УФ-свет оказывает хорошее бактерицидное действие, однако ожидать от них клинических эффектов, аналогичных тем, что получены именно в **лазерной терапии** с использованием **лазерного** света (НИЛИ), не следует. Если используются близкие параметры воздействия и модели, то следует однозначный вывод — лазерный свет намного эффективнее.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Москвин С.В. Лазеротерапия как современный этап гелиотерапии (исторический аспект). *Лазерная медицина* 1997; 1(1): 44–49.
2. Иванченко Л.П., Коздоба А.С., Москвин С.В. Лазерная терапия в урологии. М.-Тверь: Триада, 2009.
3. Кочетков А.В., Москвин С.В., Карнеев А.Н. Лазерная терапия в неврологии. М.-Тверь: Триада, 2012.
4. Москвин С.В., Амирханян А.Н. Методы комбинированной и сочетанной лазерной терапии в стоматологии. М.-Тверь: Триада, 2011.
5. Москвин С.В., Наседкин А.Н., Осин А.Я., Хан М.А. Лазерная терапия в педиатрии. М.: ЭКСМО, 2010.
6. Муфагед М.Л., Иванченко Л.П., Москвин С.В., Коздоба А.С., Филлер Б.Д. Лазерная терапия в урологии. Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2007.
7. Наседкин А.Н., Москвин С.В. Лазерная терапия в оториноларингологии. М.-Тверь: Триада, 2011.
8. Федорова Т.А., Москвин С.В., Аполихина И.А. Лазерная терапия в акушерстве и гинекологии. М.-Тверь: Триада, 2009.
9. 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): 11–18.
10. de Brito Vieira W.H., Bezerra R.M., Queiroz R.A.S. et al. Use of low-level laser therapy (808 nm) to muscle fatigue resistance: a randomized double-blind crossover trial. *Photomed Laser Surg* 2014; 32(12): 678–685.
11. Thunshelle C., Hamblin M.R. Transcranial low-level laser (light) therapy for brain injury. *Photomed Laser Surg* 2016; 34(12): 587–598.
12. Zigmund E., Varol C., Kaplan M. et al. Low-level light therapy induces mucosal healing in a murine model of dextran-sodium-sulfate induced colitis. *Photomed Laser Surg* 2014; 32(8): 450–457.
13. Enwemeka C.S. The place of coherence in light induced tissue repair and pain modulation. *Photomed Laser Surg* 2006; 24(4): 457–457.
14. Enwemeka C.S. Low level laser therapy is not low. *Photomed Laser Surg* 2005; 23(6): 529–530.
15. Enwemeka C.S. Light is light. *Photomed Laser Surg* 2005; 23 (2): 159–160.
16. Bang S. Om fordelingen af bakteriedrøbende straalер i kulbuelysets spektrum. *Meddeleleser fra Finsens Medicinske Lysinstitut*, 1904; IX: 123–135.
17. Bie V. Om Lysets virkning paa Bakterier, Eksperimentielle Undersøgelser. Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag, 1903: 43–178.
18. Bie V. Применение света в медицине. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер), 1906.
19. Finsen N.R. Om Anvendelse i Medicinen af Koncentrerede Kemiske Lysstraalер. Copenhagen, Denmark: Gyldendalske Boghandels Forlag, 1896: 5–52.
20. Finsen N.R. Ueber die Anwendung von concentrirten chemischen Lichtstrahlen in der Medicin. Leipzig, F.C.W. Vogel, 1899.
21. Finsen N.R. Светолечение. СПб., 1901.
22. Rieder H. Luft und Lichttherapie. 1911.
23. Rieder H. Светолечение. СПб.: Издание журнала «Практическая медицина» (В.С. Эттингер), 1902.
24. 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.
25. 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; 10(9): 1771–1776.
26. Лобко В.В., Кару Т.И., Летохов В.С. Существенна ли когерентность низкоинтенсивного лазерного света при его воздействии на биологические объекты. *Биофизика* 1985; 30(2): 366–371.
27. Lubart R, Friedmann H, Levinshal T, Lavie R, Breitbart H. Effect of light on calcium transport in bull sperm cells. *J Photochem Photobiol B. Biol* 1992; 15 (4): 337–341.
28. Møller K.I., Kongshoj B., Philipsen P.A. et al. How Finsen's Light Cured Lupus Vulgaris // *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2005; 21: 118–124.
29. По материалам сайта [zepter.ru/mainmenu/products/medical/bioptron](http://zepter.ru/mainmenu/products/medical/bioptron)
30. Liu T.C.Y., Cheng L., Su W.J., et al. Randomized, double-blind, and placebo-controlled clinic report of intranasal low-intensity laser therapy on vascular diseases. *Inter J Photoenergy* 2012; Article ID 489713, 5 p.
31. Liu T.C.Y., Wu D.F., Gu Z.Q., Wu M. Applications of intranasal low intensity laser therapy in sports medicine. *J Innovation Optical Health Sci* 2010; 3(1): 3–16.
32. Рамдоял С. Лазерная дородовая профилактика первичной слабости родовой деятельности при позднем гестозе: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Волгоград, 1990.
33. 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.

34. Серов В.Н., Силантьева Е.С., Ипатова М.В., Жаров Е.В. Безопасность физиотерапии у гинекологических больных. *Акушерство и гинекология* 2007; 3: 74–76.
35. Chung H., Dai T., Sharma S.K. et al. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng* 2012; 40 (2): 516–533.
36. Pizzo R.C.A., Speciali J.G., Dach F. et al. LEDytherapy for TMJ and cervicogenic headache treatment. Conference WALT. Abstracts. Bergen, Norway, 2010(1): 62.
37. Залеская 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: 137–139.
38. Vinck E.M., Cagnie B.J., Cornelissen M.J. et al. Increased fibroblast proliferation induced by light emitting diode and low power laser irradiation. *Lasers Med. Sci* 2003; 18 (2): 95–99.
39. De Sousa A.P.C., Paraguassú G.M., Silveira N.T.T., et al. Laser and LED phototherapies on angiogenesis. *Lasers Med Sci* 2013; 28(3): 981–987.
40. Corazza A.V., Jorge J., Kurachi C., Bagnato V.S. Photobiomodulation on the angiogenesis of skin wounds in rats using different light sources. *Photomed Laser Surg* 2007; 25(2): 102–106.
41. Demidova-Rice T.N., Salomatina E.V., Yaroslavsky A.N. et al. Low-level light stimulates excisional wound healing in mice. *Lasers Surg Med* 2007; 39 (9): 706–715.
42. Лазерная терапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах: клинические рекомендации. М., 2015.
43. Haina D., et al. Animal experiments on light-induced wound healing. *Biophysica Berlin* 1973; 35 (3): 227–230.
44. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. М.: Техника, 2003.
45. Будаговский А.В. О способности клеток различать когерентность оптического излучения. *Квантовая электроника* 2005; 35(4): 369–374.
46. Дубровский В.А., Гусев В.В., Астафьева О.Г. О роли физических характеристик лазерного излучения в поглощении света гемосодержащими биологическими молекулами. *Биофизика* 1982; 27(5): 908–909.
47. Плавский В.Ю., Барулин Н.В. Фотофизические процессы, определяющие биологическую активность оптического излучения низкой интенсивности. *Биомедицинская радиоэлектроника* 2009; 6: 23–40.
48. Lubart R., Friedmann H., Peled I., Grossman N. Light effect on fibroblast proliferation. *Laser Ther* 1993; 5 (2): 55–57.
49. Москвин С.В. К вопросу о механизмах терапевтического действия низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ). *Вестник новых медицинских технологий* 2008; 1: 167–172.
50. Кольцов Ю.В., Королев В.Н. Накачка биологических объектов модулируемым по амплитуде инжекционным лазером. *Биомедицинская радиоэлектроника* 1998; 4: 40–48.
51. Boulton M., Marshall J. He-Ne laser stimulation of human fibroblast proliferation and attachment *in vitro*. *Lasers Life Sci* 1986; 1 (2): 125–134.
52. Rochkind S., Nissan M., Lubart R. A single transcutaneous light irradiation to injured peripheral nerve: comparative study with five different wavelengths. *Lasers Med Sci* 1989; 4 (3): 259–263.
53. Berki T., Németh P., Hegedüs J. Biological effect of low-power helium-neon (He-Ne) laser irradiation. *Lasers Med Sci* 1988; 3 (1): 35–39.
54. 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; 105 (3): 141–148.
55. Ohshiro T., Calderhead R.G. Low level laser therapy: A practical introduction. Chichester-New-York-Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley&Sons: 1988.
56. Чудновский В.М. Лазерная биостимуляция: модели и механизмы: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток, 2002.
57. Kubota J., Ohshiro T. The effects of diode laser low reactive-level lasertherapy (LLLT) on flap survival in a rat model. *Laser Ther* 1989; 1 (3): 127–133.
58. Pöntinen P. The effect of hair lasers on skin blood flow. *Lasers Surg Med* 1995; 5 (1): 9.
59. Laakso E.L., Gramond T., Richardson C., Galligan J.P. Plasma ASTH and b-endorphin levels in response to low level laser therapy (LLLT) for myofascial trigger points. *Lasers Ther* 1994; 6 (3): 133–141.
60. Craig J.A., Barlas P., Baxter G.D., et al. 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): 375–380.
61. 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 Ther* 1989; 1 (2): 97–98.
62. Дударева Л.В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы роста и развития в растительной ткани: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Иркутск, 2004.
63. Наседкин А.А. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении больных героиновой наркоманией подростково-юношеского возраста: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. М., 2004.
64. Наседкин А.А., Москвин С.В. Лазерная терапия больных героиновой наркоманией. Тверь: Триада, 2004.