

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017
УДК 615.831.6.015.4

Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Ильина Е.С.

НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОТОХРОМОТЕРАПИИ

ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова», 127473, г. Москва

♦ В обзоре обобщены и проанализированы спектры терапевтического действия лазерного и светодиодного излучения разных длин волн на примерах различных заболеваний. Авторы подчеркивают физиологические и некоторые биофизические различия в основе механизмов воздействия современной лазеро- и светотерапии. В обзоре использованы не только научные исследования, но и монографии, учебные пособия, поэтому проанализирован большой объем данных по каждому виду светотерапии, ее противопоказания, произведено сравнение эффективности использования красного, синего и зеленого светодиодного облучения в неврологической, терапевтической, стоматологической практике, в терапии эмоциональных состояний.

Ключевые слова: обзор; светодиодно-лазерная терапия; светодиодные матрицы; терапия красным, зеленым, синим светом.

Для цитирования: Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Ильина Е.С. Нейробиологические аспекты фотохромотерапии. *Российский медицинский журнал*. 2017; 23(1): 46—51. DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2017-23-1-46-51>

Для корреспонденции: Сорокина Наталья Дмитриевна, доктор. биол. наук., профессор кафедры нормальной физиологии и медицинской физики лечебного факультета МГМСУ им. А.И. Евдокимова, 127473, г. Москва.
E-mail: medical-phys12@mail.ru

Sorokina N.D., Selitskiy G.V., Ilina E.S.

THE NEURO-BIOLOGIC ASPECTS OF PHOTOCHROMOTHERAPY

The A.E. Evdokimov Moscow state medical stomatological university, 127473, Moscow, Russian Federation

♦ The review summarizes and analyzes specters of therapeutic effect of laser and light-emitting diode radiation of different wavelengths as exemplified by various diseases. The physiological and certain biophysical differences in the basis of effect mechanisms of modern laser and light therapy are emphasized. The review applied both research studies and monographs and tutorials. Hence, a large volume of data was analyzed concerning every type of light therapy and its contraindications. The comparison is implemented concerning efficiency of implementation of red, blue and green light-emitting diode radiation in neurological, therapeutic, stomatological practice and in therapy of emotional conditions.

Keywords: review; light-emitting diode laser therapy; light-emitting diode matrices; red, blue and green light therapy.

For citation: Sorokina N.D., Selitskiy G.V., Ilina E.S. The neuro-biologic aspects of photochromotherapy. *Rossiiskii meditsinskiy zhurnal (Medical Journal of the Russian Federation, Russian journal)*. 2017; 23(1): 46—51 (In Russ.)
DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2017-23-1-46-51>

For correspondence: Nataliya D. Sorokina, doctor of biological sciences, professor of the chair of normal physiology and medical physics of the medical faculty The A.E. Evdokimov Moscow state medical stomatological university, 127473, Moscow, Russian Federation, E-mail: medical-phys12@mail.ru.

Information about authors:

Sorokina N.D., <http://orcid.org/0000-0002-5709-1041>

Selitskiy G.V., <http://orcid.org/0000-0003-0642-4739>

Ilina E.S., <http://orcid.org/0000-0003-0626-1976>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 24.08.16

Accepted 27. 09.16

Прогресс медицинской науки и техники позволил создать новый тип оптоэлектронной физиотерапевтической аппаратуры, основанной на использовании лазеров, а также сверхярких светодиодов красного, синего, зеленого и других цветов свечения, обладающих достоинствами низкоинтенсивного лазерного излучения и имеющих ряд преимуществ: равномерное распределение мощности по поверхности, биоадекватность, воздействие на значительно большую поверхность тела, простота методики, возможность индивидуального использования в амбулаторных условиях, доступность по цене. Приоритет в создании оптоэлектронной аппаратуры принадлежит отечественным ученым. Причиной широкого применения этой аппаратуры является возрастающая аллергизация населения, безболезненность и неинвазивность воздействия. Светолазерное облучение активизирует многие процессы в организме, повышая энергетический обмен, неспецифическую резистентность в организме и иммунитет, оказывает противовоспалительное, анальгезирующее, антиаллергическое и миопротекторное действие.

Как показывают данные литературы, светолазерное облучение способно восстанавливать эластичность клеточных мембран, нормализовать лимфо- и гемомикроциркуляцию в зоне воздействия, стимулировать функции тканей, органов, всего организма за счет активизации ферментных систем, метаболизма [1—3].

Так, авторы [4] на большом количестве обследуемых показали, что применение низкоинтенсивной лазерной терапии в неврологии оказывает выраженное влияние на мозговое кровообращение, систему гемостаза и гемореологию, что сопровождается повышением клинко-неврологической эффективности лечения и реабилитационных мероприятий. Механизм действия низкоинтенсивного лазерного облучения объясняется его фотобиологическим действием: перестройкой белковых полимеров (активности ферментов, структурно-функциональных свойств клеточных мембран); увеличением транспорта кислорода гемоглобином крови и образованием АТФ в клетках; активизацией фибринолиза и уменьшением вязкости крови; стимулированием ферментных систем эритроцитов, что приводит к увеличению кислородной емкости крови [4].

Одним из способов эффективного воздействия низкоинтенсивного лазерного облучения на организм является внутривенное лазерное облучение крови. Применение лазерной гемотерапии у больных с ишемическим инсультом улучшает реологические свойства крови — оказывает антиагрегантное и антикоагулянтное действие. Лазерное облучение крови способствует улучшению ее кислотно-основного состояния. Экспериментально установлено [5, 6], что применение лазерного облучения крови улучшает состояние гемодинамики, способствует нормализации показателей гемостаза, кислородно-транспортной функции крови, процессов свободнорадикального окисления и дает выраженный дегидратирующий эффект. Внутривенное лазерное облучение крови используют в качестве анальгезирующего, антиоксидантного, десенсибилизирующего, иммунокорригирующего, сосудорасширяющего, антигипоксического и противовоспалительного средства. Вследствие поглощения энергии света возникают электронно-возбужденные состояния атомов этих молекул, и как следствие нарушаются межмолекулярные взаимодействия, появляются свободные ионы. На клеточном уровне это проявляется изменением активности ключевых ферментов клеточного метаболизма, проницаемости клеточных мембран. Наиболее чувствительными являются окислительно-восстановительные ферменты, затем миелопероксидаза, кислая и щелочная фосфатаза. В митохондриях ускоряется перенос электронов по цепи электронного транспорта, увеличивается фотопотребление кислорода, блокируются «паразитарные» дыхательные цепи (не обеспечивающие синтез АТФ). Эти механизмы позволяют клетке синтезировать большее количество АТФ, в результате чего улучшается энергетическое обеспечение процессов жизнедеятельности [7].

Результаты клинического исследования индексной оценки и функциональной вакуумной пробы пародонта свидетельствуют об эффективности применения методики низкоинтенсивной лазерной терапии в комплексном лечении хронического генерализованного катарального гингивита. При использовании данной методики воспалительные изменения в пародонте уменьшались быстрее, сводя к минимуму неприятные ощущения у больных, чем в контрольной группе, где низкоинтенсивный лазер не включали в план комплексного лечения [8].

В работе [9] показано, что использование низкоинтенсивной лазерной терапии в комплексном лечении больных хроническим панкреатитом способствует улучшению функционального состояния эндотелия, что проявляется достоверным уменьшением количества циркулирующих десквамированных эндотелиоцитов и нормализации уровня нитратов в сыворотке крови. Применение накожного метода лазерной терапии, внутривенного лазерного облучения крови и комбинированного метода лазерной терапии способствует ускорению купирования основных клинических симптомов заболевания, снижению частоты рецидивов и повышению качества жизни больных хроническим панкреатитом.

Свет — адекватный физиологический раздражитель, вызывающий физико-химические, биохимические, биофизические и физиологические изменения процессов в клетке. Применение ярких и сверхярких светодиодов в виде многокомпонентных терапевтических фотоматриц также имеет более чем 20-летнюю историю. При этом раньше в клиническую практику были внедрены терапевтические фотоматрицы, генерирующие монохроматическое излучение в световом диапазоне — в красной

части спектра 630—660 нм, а позднее — в ближнем инфракрасном диапазоне 860—890 нм. В настоящее время все большую популярность получает применение трехцветных светодиодов, генерирующих красный, зеленый, синий цвета, и модулятора светодиодного излучения, генерирующего пространственно-модулированное светодиодное излучение, обладающее новыми биотропными характеристиками [10].

Классификации светолазерного медико-терапевтического оборудования, различных светоизлучающих диодов красного, зеленого и синего цвета, технические принципы построения, аппаратная реализация и биофизические принципы изложены во многих литературных источниках, например в [10, 11]. Но возможности приборов совершенствуются, и в последнее время предложен прибор для проведения цветотерапии с расширенными функциональными возможностями. В приборе используются полноцветные световые излучатели (светодиоды трех основных цветов — красный, зеленый и синий), импульсная модуляция световых сигналов в диапазоне 0—20 Гц; регулируется сила света световых сигналов в диапазоне 0,1—3 мкд. Можно задавать один из семи цветов радуги (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий или фиолетовый) или любой цвет из полной цветовой гаммы, а также частоту импульсной модуляции, длительность импульса, силу света и длительность сеанса цветотерапии. Имеются модификации светоизлучающего экрана прибора: он может быть плоским (в форме прямоугольника, квадрата или круга) или сферическим [12].

Имеется множество публикаций, в которых показано последовательное воздействие синего, красного и инфракрасного света, успешно применяющееся в различных областях медицины. Многоцветная лазерная терапия используется в комплексном лечении таких заболеваний, как дисциркуляторная энцефалопатия различной этиологии, острые нарушения мозгового кровообращения по ишемическому типу (ранний и поздний восстановительный период инфаркта мозга), острое нарушение мозгового кровообращения по геморрагическому типу (поздний восстановительный период внутримозгового кровоизлияния), последствия нарушений мозгового кровообращения [13].

Широко используют светоизлучающие диоды красного, зеленого и синего цвета для лечения как общетерапевтических патологий, так и в неврологической практике на этапах лечения и реабилитации больных с заболеваниями центральной и периферической нервной системы: вертебробазилярная недостаточность, травматическая болезнь спинного мозга, моно- и полиневропатии различного генеза [14—16].

Красное излучение (длина волны 610—690 нм) считается биологически и клинически наиболее эффективным, данные литературы подтверждают это [14—17]. В настоящее время красный свет применяется для ускорения заживления ран, улучшения микроциркуляции крови. Фотодинамическая терапия является результатом комбинирования действия трех компонентов — фотосенсибилизатора, света и кислорода и представляет собой двухступенчатый процесс: фотосенсибилизирующий препарат применяется местно или системно, после чего производится облучение светом соответствующей длины волны. При фотодинамической терапии наиболее часто используются порфирины в сочетании с красным светом (600—700 нм), а также сенсибилизаторы — фталоцианины, хлорины, пурпурины, порфины, различные

красители, обладающие фотодинамическими свойствами, сочетания красителей и наночастиц и др. [18]. Авторы подчеркивают, что условно всякий фотобиологический процесс можно разделить на несколько стадий: 1) поглощение кванта света молекулой; 2) внутримолекулярные процессы обмена энергией (фотофизические процессы); 3) межмолекулярные процессы переноса энергии возбужденного состояния; 4) первичный фотохимический акт, сопровождающийся образованием короткоживущих, нестабильных фотопродуктов; 5) темновые реакции, заканчивающиеся образованием стабильных продуктов; 6) биохимические реакции с участием фотопродуктов; 7) общепфизиологический ответ на действие света. Следовательно, фотобиологическая реакция имеет в начале чисто физический, а в конце — чисто биологический характер. Первые три стадии фотобиологического процесса одинаковы для фотобиологии и люминесценции, поэтому законы фотобиологии имеют аналогии с законами люминесценции [18].

Терапию с использованием специальной аппаратуры на основе светодиодов иногда называют цвето- или хромотерапией. Но цвет действует не только на глаза, но и на вкус, обоняние, состояние психики: в среде красного цвета ЧСС увеличивается, синего — уменьшается, а в среде зеленого процессы возбуждения и торможения уравниваются. Эти данные можно использовать в дифференцированной коррекции эмоциональных расстройств и терапии различных функциональных состояний (стресс, депрессия, монотония и т. д.).

Ультрафиолетовые лучи полностью поглощаются в эпидермисе, синий и зеленый свет — в дерме. В более глубокие слои проникают только красный свет и ближнее инфракрасное излучение в диапазоне 800—1000 нм. Акцепторами красного света в клетках животного и человека являются кислород и каталаза. Характер взаимодействия красного света определяется его проникающей способностью. Мальпигиев слой кожи поглощает 71%, дерма — 19%, подкожный слой — 10%. Фотобиологические реакции возникают вследствие поглощения электромагнитной энергии 2,1—2,4 эВ. Красный свет может давать антиоксидантный эффект — рекомбинацию гидратированных электронов с катион-радикалами излучением длиной волны 650 нм, а также прооксидантный эффект с образованием синглетного кислорода излучением с длиной волны 630 нм [19].

Красный свет успешно применяется у больных с различными неврологическими расстройствами. Так, у пациентов с цервикальной дорсопатией его использование в комплексной терапии фотофореза ксидифона и гепарина на мазевой основе эффективно влияло на снижение выраженности болевого синдрома, коррекцию вегетативных и нейропсихологических изменений, а также взаимосвязанных с ними нарушений сна, что подтверждалось положительной динамикой показателей комплексных специальных методов тестирования [15, 16].

Матричную фототерапию в диапазоне красного и инфракрасного диапазона (660 и 890 нм) проводили также у больных сахарным диабетом 2-го типа при формирующейся диабетической ангиопатии и полинейропатии, что потенцировало лечебные эффекты комплексного восстановительного лечения (базисной программы), судя по клиническим, ангиологическим, нейрофизиологическим и агрегационно-реологическим данным [20].

В другом исследовании [21] авторами показаны возможности применения светодиодного излучения длиной

волны 650 нм (красный свет) для коррекции инволюционных изменений кожи лица. Красный свет оказывает специфическое влияние на морфофункциональные структуры кожи и на ее функциональные параметры (влажность, трансэпидермальная потеря воды, эластичность), отражающие инволюционные изменения кожи лица. Воздействие светового излучения длиной волны 650 нм на кожу лица приводит к улучшению ее показателей [21].

Спектр применения фотохромотерапии довольно широкий, она используется и в стоматологии при периодонтитах, гингивитах [22, 23]. Так, авторы [23] применяли модулированный диодный красный свет в комплексном лечении хронического периодонтита. Показано, что в результате воздействия усиливался обмен веществ, за счет чего ускорялось заживление ран и других повреждений, снимались воспаления и отеки, уменьшалась боль.

Электромагнитные волны зеленого света оптического диапазона (510—550 нм) действуют на биологические объекты, что проявляется как в волновых, так и в квантовых эффектах, формирование которых находится в зависимости от длины волны. Энергия квантов зеленого света (2,5—3,5 эВ) достаточна для активации многих химических реакций, при этом тепловое воздействие уменьшается. Вызываемые зеленым светом конформационные перестройки элементов дермы активируют иммуногенез кожи и гуморальную регуляцию обменных процессов путем индукции гормонов гипофиза [24].

В работе [3] исследование проводили на экспериментальной модели острой компрессионно-ишемической невропатии на 58 крысах. На компримированный нерв воздействовали в области компрессии монохромным зеленым светом (длина волны 540 нм) с дозой облучения 500 мДж/см². В результате проведенного функционального исследования выявлено, что монохромное световое излучение зеленого достоверно улучшает все электромиографические параметры компримированного нерва в сравнении с контрольной группой. При гистологическом исследовании у крыс с воздействием зеленого света отмечается высокая степень репаративных процессов, что проявляется визуализацией значительного количества шванновских клеток по гистологическим данным. При этом отмечали образование дополнительных новых леммоцитов. В работе сделан вывод о том, что воздействие зеленого света способствует выраженной ремиелинизации нервного волокна и оказывает положительное влияние на функциональное состояние нерва по данным электромиографического исследования в экспериментальной модели компрессионно-ишемической невропатии.

В работе [25] проводили фотохромотерапию монохромным зеленым светом с дозой воздействия 3 Дж/см² в области компрессии лицевого нерва в течение 5 мин и контактно лабильно над местом проекции пораженного нерва также в течение 5 мин при непрерывном режиме воздействия. Курс лечения состоял из 10 сеансов, проводимых ежедневно или через день. Показано, что воздействие зеленым светом позволило улучшить микроциркуляцию, снять отек в месте компрессии нерва, усилить регенерацию нервного волокна [24].

Относительно недавно авторы показали эффективность зеленого света при последствиях перинатальных поражений центральной нервной системы у детей. Монохромное некогерентное излучение длиной волны 540 нм (зеленый свет) при воздействии на заднюю поверхность шеи и воротниковую зону оказывает спазмолитическое и

седативное действие, уменьшает выраженность головной боли, нарушений сна и возбудимости, улучшает когнитивные функции и церебральную гемодинамику преимущественно в вертебробазилярном бассейне [26].

Для терапии мигрени и головной боли напряжения используют красный [27] и зеленый [28] свет. Зеленый свет не только достоверно снижает выраженность болевого синдрома при головной боли, но и улучшает настроение, более выраженно снижает тревожность по сравнению с традиционными психорелаксационными методиками.

В работе [29] показана эффективность лечения артериальной гипертензии низкоинтенсивным лазерным излучением и зеленым светом. В статье обсуждаются вопросы подбора оптимальной длины волны и дозы излучения. Доказано, что наибольший эффект дает хромотерапия с помощью аппарата «Мустанг-2000» с подключением к нему полупроводникового светодиода MCO5, несущего семь светодиодных излучателей, длина волны 0,53 мкм, мощность непрерывного светового излучения 21 мВт, режим излучения света квазинепрерывный, частота импульсов 1500 Гц. Воздействие на рефлексогенные зоны контактное и дистальное. Общее время воздействия 6 мин 20 с. Курс лечения 10–12 процедур ежедневно, кроме воскресенья, 1 раз в сутки (утром), в одно и то же время. Облучение рефлексогенных зон проводилось по точкам: точка между остистыми отростками CVII—Th1 в течение 90 с, контактно; точка между остистыми отростками Th1—Th2 в течение 90 с, контактно; точка в центре пяток по 90 с на каждую, контактно; область макушки головы дистально на расстоянии 2 см в течение 20 с. В результате применения курса терапии авторы отмечают положительную динамику клинических и лабораторных показателей под влиянием хромолазеротерапии по сравнению с медикаментозной терапией [29].

Исследования влияния синего света на физиологические функции организма человека были начаты в XIX веке: отмечали его противомикробное действие, благотворное влияние на работу сердца и иммунной системы. В начале XX века лампы синего света широко использовались в стоматологии для лечения воспалений десен, а также для обезболивания. Русский военный врач А. Минин в конце XIX — начале XX века одним из первых начал применять синий свет для лечения. В настоящее время интерес к светотерапии синим светом возобновился, но уже на современном техническом уровне. Механизм действия синего света основан прежде всего на увеличении энергетических возможностей организма за счет усиления синтеза энергии в митохондриях клетки. Более того, в отличие от других диапазонов оптического излучения синий свет интенсивно поглощается многочисленными фоторецепторами биологического объекта, вызывая фотохимические реакции, обеспечивающие его нормальную жизнедеятельность [30].

Для синего света 400–470 нм глубина проникновения 2–2,5 мм, однако с учетом рассеянного в тканях излучения глубина его проникновения достигает 2,5 см. Синий свет может без поглощения распространяться в водной среде и при обеспечении определенных условий не выходить за ее пределы. Синий свет максимально поглощается лимфой, желчью, сухожилиями, жировой тканью [30, 31].

Если фоторецепторами красного света считаются только кислород и каталаза, то к синему свету имеется значительно больше рецепторных химических структур. Электроны, отдаваемые промежуточными продуктами цикла трикарбоновых кислот, с помощью цепи специ-

альных ферментов переходят на все более низкие энергетические уровни до тех пор, пока они не восстановят конечный акцептор электронов. В переносе электронов участвуют три класса окислительно-восстановительных ферментов: пиринидинзависимые дигидрогеназы, флавинзависимые дигидрогеназы, цитохромы. Соединения, имеющие порфириновую структуру, также поглощают синий свет: билирубин — 460 нм, гемоглобин — 420 нм, порфирины крови — 440 нм. Фотосенсибилизированное окисление одних порфиринов другими и самоокисление порфиринов при их освещении светом обусловлены генерацией синглетного кислорода возбужденными триплетными порфиринами и последующей реакцией синглетного кислорода с невозбужденными молекулами [30, 31].

В настоящее время известны следующие основные лечебные эффекты синего света: стимуляция синтеза энергии на клеточном уровне, снижение вязкости крови, регуляция системы гемостаза, увеличение скорости кровотока в магистральных сосудах, улучшение микроциркуляции, укрепление стенок сосудов, регуляция метаболизма, выраженный эффект регенерации при различных поражениях, обезболивающий эффект, улучшение проводимости нервных импульсов, усиление доставки и утилизации кислорода тканями организма, улучшение функции внешнего дыхания, иммуномодулирующее действие, лечение острых респираторных вирусных инфекций и др. [32].

Авторы учебного пособия [32] считают, что имеют следующие фотодинамические эффекты поглощения синего света эндогенными фотосенсибилизаторами: разрушение билирубина при его высоком содержании в крови, кожном пуле и выведение из организма в виде нетоксичных продуктов; избирательное поглощение синего света липидами низкой плотности приводит к их разрушению и снижению их содержания в крови, при этом запускается генетический механизм регуляции липидного обмена, приводящий к разрушению атеросклеротических бляшек. Так, по мнению авторов, синий свет применяется при лечении следующих заболеваний: атеросклероз сосудов нижних конечностей, диабетическая ангиопатия, ишемическая болезнь сердца, миокардиты, нарушение кровообращения головного мозга (инсульт), внутричерепная гипертензия, мигрень, нарушение венозного кровообращения головного мозга, все виды нарушения микроциркуляции, постромботический синдром, нейросенсорная тугоухость, синдром хронической усталости и др. [27, 32].

В специальных исследованиях, посвященных воздействию синего света, было доказано улучшение биохимических показателей крови (общего холестерина и его фракций, антиоксидантная защита — уровень церулоплазмينا, витамина С и др.). В результате облучения синим светом (на уровне шеи до 20 мин, 10 сеансов в утреннее время) у пациентов улучшался психический статус, нормализовались сон и эмоциональное состояние. Фототерапия сопровождалась снижением липидообразования на фоне повышения антиоксидантной защиты (повышение уровня церулоплазмينا). Авторы сделали вывод о том, что фототерапия синим светом может быть предложена для профилактики сезонных аффективных расстройств [33].

В работе [34] изучено влияние светодиодного излучения разной длины волны на клиническое течение невралгии лицевого нерва в острой стадии. Установлен выраженный терапевтический эффект светодиодного

излучения с длиной волны 540 нм (зеленый свет). Отмечено, что включение в терапию светодиодного излучения с длиной волны 470 нм (синий свет) оказывало более выраженное болеутоляющее действие.

Следует заметить, что к каждому виду светотерапии имеются противопоказания, которые указываются в инструкции к проведению конкретного вида фотохромотерапии. К примеру, противопоказания к применению красного и зеленого света — это сердечная недостаточность, почечная недостаточность, анемия, фотодерматоз, фотофтальмия [27], синего — те же плюс подострый инфаркт миокарда или беременность, к применению лазерного излучения список противопоказаний шире [34—36]. Механизм при воздействии низкоинтенсивного лазера — быстрый локальный нагрев и перегрев внутриклеточных структур и молекул клетки и ускорение на этой основе каскада специфических клеточных биохимических реакций, т. е. поглощение даже одного кванта света молекулой вещества может привести к весьма ощутимым и непредсказуемым для этой молекулы последствиям. Общие противопоказания к применению низкоэнергетической лазерной терапии такие же, как и к применению многих других аппаратных физиотерапевтических процедур: декомпенсированные состояния сердечно-сосудистой системы, некоторые заболевания крови, септические, острые инфекционные заболевания и лихорадочные состояния невыясненной этиологии; заболевания центральной нервной системы (шизофрения, эпилепсия) и другие тяжелые системные заболевания [24, 36].

Заключение

Светотерапия так же стара, как и человечество. Многими исследователями сделаны выводы о неспецифическом влиянии света, фототерапии, а также о специфическом различии действия световой и светолазерной терапии на органы и системы органов человека, на клеточные культуры, на организм животных. Как видно, фототерапевтические аппараты на основе светодиодных матриц могут широко использоваться для лечения хронических болезней, в педиатрической и гериатрической практике, для лечения пограничных нервно-психических расстройств, коррекции эмоциональных состояний. При этом нужно не только не забывать об эффектах их конечного воздействия, но и понимать разницу биофизических, физиологических эффектов низкоинтенсивных лазеров и светодиодов разной длины волны, обобщенных и изложенных в обзоре современных исследований.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Клебанов Г.И., Шураева Н.Ю., Чичук Т.В., Осипов А.Н., Владимиров Ю.А. Сравнительное исследование влияния излучения лазера и светодиодов на перекисное окисление липидов раневого экссудата крыс. *Биофизика*. 2006; 51(2): 332—9.
- Ростоман М.С. Лазеротерапия, обоснование применения и механизмы его воздействия. *Вопросы теоретической и клинической медицины*. 2010; (3): 15—9.
- Гузалов П.И., Кирьянова В.В. Влияние светодиодного излучения зеленого спектра на поврежденный нерв в эксперименте. *Лазерная медицина*. 2011; 15(2): 110—9.
- Баранцев Ф.Г., Баранцева Л.П., Афанасьева Ю.Ф. Внутривенное лазерное облучение при артериальной гипертензии у летного состава. *Физиотерапия, бальнеология, реабилитация*. 2007; (2): 3—5.
- Недзведь Г.К., Нечипуренко Н.И., Сидорович Э.К., Ровдо С.Е. Экспериментальное обоснование и клинический опыт применения лазерной гемотерапии в лечении больных с ишемическим инсультом. В кн.: Рубинов А.Н., Улащик В.С., Афанасьев А.А., Никитенко Н.К., ред. *Лазерно-оптические технологии и медицине. Тезисы докладов международной конференции*. Минск; 2004.
- Румянцев С.А., Беневоляская Н.Г., Кузнецов О.Р., Силина Е.В., Рыжова Д.Д., Свищева С.П. Нейропротективная терапия в ангионеврологии. *Русский медицинский журнал*. 2007; (10): 855—9.
- Макаров О.В., Авдошин В.П. *Низкоинтенсивная лазерная терапия в урологии: учебное пособие*. М.: РУДН; 2008.
- Светлакова Е.Н., Жегалина Н.М., Мандра Ю.В. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении заболеваний пародонта. *Проблемы стоматологии*. 2010; (5): 8—11.
- Бурдули Н.М., Гутнова С.К. Влияние лазерной терапии на микроциркуляцию и клинические проявления при хроническом панкреатите. *Лазерная медицина*. 2010; 14(4): 36—40.
- Хлынов М.А., Баранов В.Н., Рашев Р.Р. Принципы построения и аппаратная реализация многофункциональных фототерапевтических устройств. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2011; (4): 159—66.
- Москвин С.В., Купеев В.Г. *Лазерная хромо- и цветотерапия*. Тверь: Трида; 2007.
- Лаврентьев Б.Ф., Рожнецов В.В. Прибор цветотерапии. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015; (6-1): 38—41.
- Фурсова Л.А., Козловская Л.Е. Лазерная терапия при цереброваскулярных заболеваниях. *ARS MEDICA*. 2009; 13(3): 132—9.
- Василькин А.К., Жирнов В.А., Кирьянова В., Жулев Н.М., Гузалов П.И. Селективная фотохромотерапия в комплексном лечении больных с рефлекторными синдромами остеохондроза пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2009; 34(4): 187—91.
- Селезнев А.Н.1, Савин А.А., Колтыгина А.С., Савин Л.А., Савельева Н.А. Применение светодиода фотоматричного облучения красным цветом у больных с цервикальной дорсопатией. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2012; 112(1): 94—6.
- Селезнев А.Н., Даминов В.Д., Галныкина А.С., Савин А.А. Коррекция психоэмоциональных изменений, вегетативной дисфункции и нарушений сна у больных цервикальной дорсопатией. *Вестник восстановительной медицины*. 2015; (1): 8—13.
- Баврина А.П., Монич В.А., Малиновская С.Л., Борзиков В.В., Барин О.О., Миронова К.О. Широкополосный красный свет как фактор, регулирующий свободнорадикальное окисление после облучения мышечной ткани крыс мощным лазером. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. 2014; (2-1): 112—5.
- Генина Э.А. *Методы биофотоники: фототерапия*. Саратов: Новый Ветер; 2012.
- Пономаренко Г.Н., Турковский И.И. *Биофизические основы физиотерапии*. СПб: ВмедА; 2003.
- Кочетков А.В., Турова Е.А., Искандарян А.Г. Фотоматричная терапия больных диабетической нейропатией. *Клиническая неврология*. 2009; (1): 31—5.
- Кирьянова В.В., Королькова Т.Н., Кириллова А.С., Гузалов П.И. Коррекция возрастных изменений кожи лица с помощью некогерентного узкополосного излучения длиной волны 650 нм. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2012; (5): 44—7.
- Прохорова Е.В., Гиоева Ю.А., Климова Т.В., Русанова А.Г., Гемонов В.В. Использование инфракрасного излучения в лечении хронического гингивита (экспериментально-клиническое исследование). *Ортодонтия*. 2008; (1): 41—5.
- Кукин А.А., Беленова И.А., Кобзева Г.Б. Повышение эффективности комплексного лечения хронического пародонтита с помощью фотодинамической терапии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2013; 20(2): 265—8.
- Москвин С.В., Буйлин В.А., ред. *Низкоинтенсивная лазерная терапия*. М.: Техник; 2000.
- Гузалов П.И., Кирьянова В.В., Никищенкова А.С., Юйбо Ц. Светодиодное излучение разной длины волны в лечении острой стадии компрессионно-ишемической невропатии лицевого нерва. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2012; (4): 18—23.
- Кирьянова В.В. Новые возможности современной физиотерапии в нейрореабилитации. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2013; (5): 42—3.
- Буйлин В.А., Ларюшин А.И., Никитина М.В. *Свето-лазерная терапия*. М.: Трида; 2004.
- Сорокина Н.Д., Селицкий Г.В., Ильина Е.С. Эффективность био-

- логической обратной связи в сочетании с хромотерапией зеленым светом в лечении мигрени. В кн.: *Актуальные вопросы и перспективы развития медицины. Сборник научных трудов по итогам III международной научно-практической конференции*. Омск: Инновационный центр развития образования и науки; 2016.
29. Гончарова И.А., Никитин А.В. Клиническая эффективность комбинированной хромо- и лазеротерапии в комплексном лечении артериальной гипертензии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2011; 18(2): 243—4.
30. Палеев Н.Р., ред. *Фотохромотерапия (светолечение): Руководство для врачей*. М.: Медицина; 2001.
31. Рубин А.Б., ред. *Молекулярные механизмы биологического действия оптического излучения*. М.: Наука; 1988.
32. Карандашов В.И., Палеев Н.Р., Петухов Е.Б., Джулини Г. *Лечение синим светом*. М.: Техника-молодежи; 2009.
33. Шешунова М.Г., Кудрявцев В.А., Еликова Е.П., Цапок П.И., Чупраков П.Г., Шилов О.И. Клинико-лабораторный контроль при фототерапии синим светом сезонных аффективных расстройств. *Вятский медицинский вестник*. 2007; (4): 76—7.
34. Иваненко А.В., Щедренок В.В., Могучая О.В. Опыт использования лазерного излучения при лечении дегенеративных заболеваний позвоночника. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2009; (2): 206—8.
35. Лазутина Г.С., Овчинникова Н.В., Жеребятнева С.Р. Лазер и регенеративные процессы в тканях разного генеза. *Современные наукоёмкие технологии*. 2005; (9): 57—8.
36. Усов С.В., ред. *Лазерная терапия и профилактика*. М.: Практическая медицина; 2012.
1. Klebanov G.I., Shuraeva N.Yu., Chichuk T.V., Osipov A.N., Vladimir Yu.A. Comparative investigation of the impact of the laser and light-emitting diode radiation on the lipid peroxidation of the traumatic exudation in rats. *Biofizika*. 2006; 51(2): 332—9. (in Russian)
2. Rostomyan M.S. Laserotherapy, basing of the use and mechanisms of its impact. *Voprosy teoreticheskoy i klinicheskoy meditsiny*. 2010; (3): 15—9. (in Russian)
3. Guzalov P.I., Kir'yanova V.V. The impact of light-emitting diode of green light on damaged nerve in experiment. *Lazernaya meditsina*. 2011; 15(2): 110—9. (in Russian)
4. Barantsev F.G., Barantseva L.P., Afanas'eva Yu.F. Intravenous laser radiation air crew with arterial heptertention. *Fizioterapiya, bal'neologiya, reabilitatsiya*. 2007; (2): 3—5. (in Russian)
5. Nedzved' G.K., Nechipurenko N.I., Sidorovich E.K., Rovdo S.E. Experimental basis and clinical experience of the laser hemotherapy using in the treatment of patients with ischemic stroke. In: Rubinov A.N., Ulashchik V.S., Afanas'ev A.A., Nikienko N.K., eds. *Laser-Optical Technology in Biology and Medicine. Abstracts of the International Conference. [Lazerno-opticheskie tekhnologii v biologii i meditsine. Tezisy dokladov mezhdunarodnoy konferentsii]*. Minsk; 2004. (in Russian)
6. Rumyantseva S.A., Benevol'skaya N.G., Kuznetsov O.R., Silina E.V., Ryzhova D.D., Svishcheva S.P. Neuroprotector therapy in angioneurology. *Russkiy meditsinskiy zhurnal*. 2007; (10): 855—859. (in Russian)
7. Makarov O.V., Avdoshin V.P. *Low-Intensity Laser Therapy in Urology: a Tutorial. [Nizkointensivnaya lazernaya terapiya v urologii: uchebnoe posobie]*. Moscow: RUDN; 2008. (in Russian)
8. Svetlakova E.N., Zhegalina N.M., Mandra Yu.V. The using of low-intensive laser radiation in complex treatment of parodontal disease. *Problemy stomatologii*. 2010; (5): 8—11. (in Russian)
9. Burduli N.M., Gutnova S.K. The impact of laser therapy on microcirculation and clinical manifestations under chonical pancreatitis. *Lazernaya meditsina*. 2010; 14(4): 36—40. (in Russian)
10. Khlynov M.A., Baranov V.N., Rashev R.R. Principles of construction and equipment realization of polifunctional phototherapeutic device. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2011; (4): 159—66. (in Russian)
11. Moskvina S.V., Kupeev V.G. *Laser chrome and color therapy. [Lazernaya khromo-i tsvetoterapiya]*. Tver': Triada; 2007. (in Russian)
12. Lavrent'ev B.F., Rozhentsov V.V. Cromotherapy device. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015; (6-1): 38—41. (in Russian)
13. Fursova L.A., Kozlovskaya L.E. Laser therapy of cerebrovascular diseases. *ARS MEDICA*. 2009; 13(3): 132—9. (in Russian)
14. Vasil'kin A.K., Zhironov V.A., Kir'yanova V., Zhulev N.M., Guzalov P.I. Selective photochromotherapy in complex treatment of patients with reflective syndromes of osteochondrosis of the lumbar-sacral part of spinal cord. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2009; 34(4): 187—91. (in Russian)
15. Seleznev A.N.I., Savin A.A., Kolygina A.S., Savin L.A., Savel'eva N.A. The using of light-emitting diode photomatrix radiation of red light in patients with cervical dorsopathy. *Zhurnal neurologii i psikhiiatrii im. S.S. Korsakova*. 2012; 112(1): 94—6. (in Russian)
16. Seleznev A.N., Daminov V.D., Galnykina A.S., Savin A.A. The correction of psychoemotional changes, vegetative dysfunction and sleep disturbances in patients with cervical dorsopathy. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*. 2015; (1): 8—13. (in Russian)
17. Bavrina A.P., Monich V.A., Malinovskaya S.L., Borzikov V.V., Barinov O.O., Mironova K.O. Broadband red light as a regulating factor easily radical oxidation after powerful laser radiation of muscle tissue in rats. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2014; (2-1): 112—5. (in Russian)
18. Genina E.A. *Biophotonics Methods: Phototherapy. [Metody biofiziki: fototerapiya]*. Saratov: Novyy Veter; 2012. (in Russian)
19. Ponomarenko G.N., Turkovskiy I.I. *Biophysical Basics of Physiotherapy. [Biofizicheskie osnovy fizioterapii]*. St. Petersburg: VmedA; 2003. (in Russian)
20. Kochetkov A.V., Turova E.A., Iskandaryan A.G. Photomatrix therapy of patients with diabetic neuropathy. *Klinicheskaya neurologiya*. 2009; (1): 31—5. (in Russian)
21. Kir'yanova V.V., Korol'kova T.N., Kirillova A.S., Guzalov P.I. The correction of aging changes of facial skin with the using of noncoherent narrow-band radiation with wave-length 650 nm. *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*. 2012; (5): 44—7. (in Russian)
22. Prokhorova E.V., Gioeva Yu.A., Klimova T.V., Rusanova A.G., Gemonov V.V. The using of infrared radiation in treatment of chronic gingivitis (experimental and clinical investigation). *Ortodontiya*. 2008; (1): 41—5. (in Russian)
23. Kunin A.A., Belenova I.A., Kobzeva G.B. The increase of efficiency of complex treatment of chronic parodontitis with the using of photodynamotherapy. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2013; 20(2): 265—8. (in Russian)
24. Moskvina S.V., Buylin V.A., eds. *Low-Intensity Laser Therapy. [Nizkointensivnaya lazernaya terapiya]*. Moscow: Tekhnik; 2000. (in Russian)
25. Guzalov P.I., Kir'yanova V.V., Nikishchenkova A.S., Yuybo Ts. The light-emitting diode radiation with different wave-length in treatment of acute stage compressive-ischemic neuropathy of facial nerve. *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*. 2012; (4): 18—23. (in Russian)
26. Kir'yanova V.V. New possibilities of modern physiotherapy in neurorehabilitation. *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya*. 2013; (5): 42—3. (in Russian)
27. Buylin V.A., Laryushin A.I., Nikitina M.V. *Light-Laser Therapy. [Sveto-lazernaya terapiya]*. Moscow: Triada; 2004. (in Russian)
28. Sorokina N.D., Selitskiy G.V., Il'ina E.S. The efficiency of biofeedback with the combination of chromotherapy of green light in migraine treatment. In: *Topical Issues and Prospects of Development of Medicine. Collection of Scientific Papers on the Results of the III International Scientific and Practical Conference. [Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya meditsiny. Sbornik nauchnykh trudov po itogam III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Omsk: Innovatsionnyy tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki; 2016. (in Russian)
29. Goncharova I.A., Nikitin A.V. Clinical efficiency of combined chromo- and laserotherapy in complex treatment of arterial hypertension. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2011; 18(2): 243—4. (in Russian)
30. Paleev N.R., ed. *Photochromotherapy (Light Therapy): Guide for Physicians. [Fotokhromoterapiya (svetolechenie): Rukovodstvo dlya vrachei]*. Moscow: Meditsina; 2001. (in Russian)
31. Rubin A.B., ed. *Molecular Mechanisms of Biological Action of Optical Radiation. [Molekularnye mekhanizmy biologicheskogo dejstviya opticheskogo izlucheniya]*. Moscow: Nauka; 1988. (in Russian)
32. Karandashov V.I., Paleev N.R., Petukhov E.B., Dzholini G. *Blue Light Treatment. [Lechenie sinim svetom]*. Moscow: Tekhnika-molodezhi; 2009. (in Russian)
33. Sheshunova M.G., Kudryavtsev V.A., Elikova E.P., Tsapok P.I., Chuprakov P.G., Shilov O.I. Clinic and laboratory control of blue light phototherapy of seasonal affective diseases. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2007; (4): 76—7. (in Russian)
34. Ivanenko A.V., Shchedrenok V.V., Moguchaya O.V. Experience of the laser radiation using in the treatment of generative diseases of spinal cord. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina*. 2009; (2): 206—8. (in Russian)
35. Lazutina G.S., Ovchinnikova N.V., Zherebyat'eva S.R. Laser and regenerative processes in tissue of different genesis. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2005; (9): 57—8. (in Russian)
36. Usov S.V., ed. *Laser Therapy and Prevention. [Lazernaya terapiya i profilaktika]*. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2012. (in Russian)