

билирубина, а также сравнительные исследования фотостойчивости пигмента, локализованного в клетках и в комплексе с альбумином.

**Материалы и методы.** Фотостойчивость билирубина исследовали в питательной среде MEM (с 10% сыворотки крупного рогатого скота), в которой билирубин в основном связан с альбумином, а также в клетках почки африканской зеленой марьшанки BGM в логарифмической стадии роста. Критерием сенсibilизированного билирубином повреждения клеток служил МТТ-тест, отражающий их метаболическую активность.

**Результаты.** Показано, что билирубин может оказывать сенсibilизирующее действие на клетки (проявляющееся в снижении их выживаемости) при возбуждении оптическим излучением длиной волны  $\lambda = 465$  нм и  $\lambda = 520$  нм. Определяющую роль в фотоинактивации клеток играет синглетный кислород. Характерная особенность дозовых кривых фотоинактивации – практически идентичный фотобиологический эффект излучения  $\lambda = 465$  нм, соответствующего максимуму спектра поглощения билирубина в комплексе с альбумином, и излучения  $\lambda = 520$  нм, соответствующего длинноволновому склону указанного спектра. Это свидетельствует о резком изменении спектральных характеристик билирубина при его связывании с клеточными органеллами. Впервые показано, что включение билирубина в клетки, где он преимущественно локализован в митохондриях, сопровождается многократным усилением его фотохимической устойчивости по сравнению с молекулами пигмента, связанными с альбумином. Среди возможных причин повышенной фотостабильности билирубина в клетках: а) образование наряду с мономерами его димерных форм; б) наличие близко расположенных антиоксидантов; в) замедленная диффузия кислорода, задействованного в реакциях самосенсibilизированного обесцвечивания пигмента; г) тушение триплетного состояния билирубина другими биомолекулами. Установлено, что билирубин, локализованный внутри животных клеток, может выполнять функцию селективного фильтра, экранирующего излучение, потенциально способное вызывать фотоизомеризацию билирубина, связанного с молекулами альбумина крови.

Плавский В.Ю.<sup>1</sup>, Микулич А.В.<sup>1</sup>, Леусенко И.А.<sup>1</sup>, Третьякова А.И.<sup>1</sup>, Плавская Л.Г.<sup>1</sup>, Сердюченко Н.С.<sup>1</sup>, Gao Jing<sup>2</sup>, Xiong Daxi<sup>2</sup>, Wu Xiaodong<sup>2</sup>

#### ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОТЕРАПИИ ГИПЕРБИЛИРУБИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

<sup>1</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;

<sup>2</sup> Институт биомедицинской инженерии и технологий Китайской академии наук, г. Сучжоу, Китайская Народная Республика

Plavsky V.Yu., Mikulic A.V., Leusenko I.A., Tretyakova A.I., Plavskaya L.G., Serdyuchenko N.S., Gao Jing, Xiong Daxi, Wu Xiaodong (Minsk, BELARUS; Sychzhou, CHINA)

#### OPTIMIZATION OF SPECTRAL RANGE IRRADIATION FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF HYPERBILIRUBINEMIA PHOTOTHERAPY IN NEWBORNS

**Обоснование.** Проблема повышения эффективности лечения гипербилирубинемии новорожденных детей не утратила своей актуальности, несмотря на широкое применение оптических технологий, направленных на снижение уровня билирубина в крови младенцев.

**Цель работы** – рассмотрение с позиций фотобиофизики возможных путей повышения эффективности лечения конъюгационной гипербилирубинемии новорожденных за счет оптимизации спектрального диапазона воздействующего излучения и его интенсивности.

**Материалы и методы.** Процедуру фототерапии детей с синдромом гипербилирубинемии конъюгационного типа

осуществляли с помощью разработанного нами на базе светодиодных источников фототерапевтического аппарата LEDLife. Аппарат обеспечивал возможность воздействия на поверхность тела ребенка либо излучением светодиодных источников плотностью мощности 0,5–2,5 мВт/см<sup>2</sup> с длиной волны в максимуме спектра испускания  $\lambda_{\text{max}} \approx 462$  нм (синяя область спектра), либо одновременно излучением двух типов светодиодных источников: с  $\lambda_{\text{max}} \approx 462$  нм и  $\lambda_{\text{max}} \approx 505$  нм (сине-зеленая область спектра).

**Результаты.** Показано, что эффективность фототерапии неонатальной желтухи при использовании узкополосных светодиодных источников зависит не только от положения максимума спектра испускания светодиодов в пределах полосы поглощения билирубина, но и от ширины спектра воздействующего излучения. Установлено, что расширение спектрального диапазона излучения за счет добавления к свету синего диапазона с  $\lambda_{\text{max}} \approx 462$  нм зеленой компоненты с  $\lambda_{\text{max}} \approx 505$  нм (в условиях одинаковой интегральной плотности мощности) приводит к повышению эффективности снижения уровня общего билирубина в крови новорожденных.

**Заключение.** Эффект обусловлен гетерогенностью спектральных характеристик билирубина в условиях различного микроокружения, а также зависимостью оптимальной длины волны излучения для фотоизомеризации пигмента от глубины залегания кровеносных сосудов, являющихся местом протекания вышеуказанных фотохимических реакций. Кроме того, расширение спектрального диапазона излучения за счет добавления зеленой компоненты приводит к увеличению выхода люмирубина в результате смещения положения равновесия между *цис-транс*-изомерами билирубина, а также за счет увеличения облучаемых объемов крови, в которых иницируются реакции фотоизомеризации, лежащие в основе терапевтического действия света. Скорость снижения уровня билирубина линейно растет при увеличении интенсивности света, соответствующего спектру поглощения пигмента, в диапазоне 0,5–2,5 мВт/см<sup>2</sup>.

Семенов Б.В., Баранов В.Н.

#### К МЕХАНИЗМУ БИОТРОПНОГО ДЕЙСТВИЯ СКАНИРУЮЩЕГО РЕЖИМА НИЛИ НА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

Semenov B.V., Baranov V.N. (Tyumen, RUSSIA)

#### TO THE MECHANISM OF BIOTROPIC ACTION OF THE SCANNING MODE OF LOW-LEVEL LASER THERAPY AT BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS

**Обоснование.** Разработка новых методик лазерного действия на биологически активные точки (БАТ), а также медицинской техники, реализующей данные лечебные приемы, является актуальной задачей современной физиотерапии. Известно, что в БАТ усилена микроциркуляторная сеть, имеются обильные артериоло-венулярные анастомозы. Патологические процессы динамично меняют формы гемоглобина, обладающие несколько отличающимися друг от друга спектрами поглощения. Известно, что дезоксигемоглобин поглощает лучше излучение в красной части спектра, чем оксигемоглобин, а поглощение оксигемоглобина несколько выше в инфракрасной части спектра, чем в красной, сдвиг длины волны излучения в процессе лазерного воздействия, в том числе из-за эффекта Допплера, может влиять на акцепцию БАТ лазерного излучения.

**Цель работы** – проведение математических расчетов возможности воздействия на БАТ доплеровской фракции лазерного излучения длиной волны 670 и 850 нм как наиболее часто применяющегося в клинической практике.

**Результаты.** В результате математических расчетов показано, что диапазон изменения спектра лазерного воздействия при суммировании вышеуказанных доплеровских составляющих на длине волны 670 нм был от 0 до 0,0035 нм, а при 850 нм – от 0 до 0,0045 нм при изменении скорости источ-

ника относительно БАТ – от 0 до 100 м/с. С увеличением скорости перемещения источника излучения росла величина доплеровского смещения как при облучении на длине волны 670 нм, так и на 850 нм. Таким образом, увеличение скорости перемещения источника лазерного излучения приведет к увеличению соотношения интенсивности доплеровской фракции лазерного излучения к значению исходной длины волны излучения за счет сокращения времени задержки источника излучения в периодах между его приближением к БАТ и его отдалением от БАТ. При движущемся характере источника лазерного излучения соотношение длины волны доплеровской фракции излучения к длине волны базового излучения будет квадратично расти с увеличением скорости перемещения источника излучения. При малой скорости перемещения источника излучения временная задержка между появлением доплеровской и несмещенной компонент лазерного излучения линейно возрастет.

Смелова И.В., Головнева Е.С., Еловских И.В.

### **ВЛИЯНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ТУЧНЫХ КЛЕТОК ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГМУ», г. Челябинск, Россия;

<sup>2</sup> ГБУЗ ЦОСМП «Челябинский государственный институт лазерной хирургии», г. Челябинск, Россия

*Smelova I.V., Golovneva E.S., Yelovskikh I.V. (Chelyabinsk, RUSSIA)*

#### **EFFECTS OF INFRARED LASER RADIATION ON AVERAGE INTENSITY AT THE STATE OF THYROID MAST CELLS**

*Обоснование.* Недостаточно исследован вопрос об эффектах лазерного воздействия на щитовидную железу (ЩЖ) и отечной реакции тучных клеток ее стромы.

*Цель работы* – изучение влияния инфракрасного лазерного облучения средней интенсивности на функциональное состояние тучных клеток ЩЖ.

*Материалы и методы.* Эксперимент проведен на 21 беспородных половозрелых лабораторных крысах-самцах, разделенных на 4 группы. 1-я – интактные животные; 2, 3, 4-я – лазерное воздействие на ЩЖ интактных крыс, суммарная плотность дозы 112 Дж/см<sup>2</sup>, с выведением животных из эксперимента: через 1 сутки – 2-я группа, через 1 неделю – 3-я группа и через 1 месяц – 4-я группа. Лазерное воздействие осуществлялось аппаратом ИРЭ «Полус» (Россия, длина волны 970 нм). Материал для морфологического исследования забирали в 10% раствор нейтрального формалина, затем готовили гистологические срезы, которые окрашивали толуидиновым синим при pH = 2,0. Морфометрический анализ срезов проводили с подсчетом общего количества тучных клеток, количества целых клеток и клеток в разной степени дегрануляции, коэффициента дегрануляции.

*Результаты.* Общее количество тучных клеток, как и целых тучных клеток, после облучения в сравнении с контрольной группой достоверно не изменялось. Количество тучных клеток I степени дегрануляции после облучения достоверно уменьшалось через сутки: 2,64 (2,31; 4,40) – 1,21 (0,44; 3,47) и увеличивалось через месяц: 2,64 (2,31; 4,40) – 5,06 (4,40; 6,05). Также изменялось количество тучных клеток II степени дегрануляции через месяц: 1,54 (0,88; 2,53) – 4,51 (2,86; 5,45). В препаратах, полученных через месяц после окончания лазерного среднеинтенсивного облучения ЩЖ, отмечали увеличение общего количества дегранулированных тучных клеток: 5,06 (4,07; 10,56) – 12,87 (10,45; 15,62). Коэффициент дегрануляции мастоцитов в контрольной группе составил 0,53 (0,35; 0,58). После лазерного воздействия он достоверно повышался через месяц – 0,71 (0,59; 0,80).

*Заключение.* Среднеинтенсивное лазерное воздействие изменяет активность тучных клеток ЩЖ, что может изменить состояние микроциркуляции в органе и функциональную активность тироцитов.

Соловьева А.Г.

### **ВЛИЯНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА НА ЭНЗИМАТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАВМЕ**

ФГБУ «ННИИТО» Минздрава России, г. Нижний Новгород, Россия

*Solovyova A.G. (Nizhny Novgorod, RUSSIA)*

#### **EFFECTS OF DIODE LASER RADIATION AT THE ENZYMATIC ACTIVITY OF RED BLOOD CELLS IN EXPERIMENTAL THERMAL INJURY**

*Обоснование.* Изучение метаболизма и токсемического синдрома при ожогах диктует необходимость использования методов коррекции. К эфферентным методам детоксикации относится квантовая гемотерапия (ультрафиолетовое/лазерное облучение крови).

*Цель работы* – изучение влияния полупроводникового лазера (ППЛ) на регуляторные свойства альдегиддегидрогеназы (АлДГ) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) в прямой (ЛДГпр) и обратной (ЛДГобр) реакциях в эритроцитах крыс в первые часы после ожога.

*Материалы и методы.* Эксперименты проведены на белых крысах линии Wistar. Животным в условиях тиопенталовой общей анестезии наносили ожог пламенем (10% п. т., 45 сек). Кровь забирали через 1 час после ожога, стабилизировали раствором цитрата натрия (3,8%), в опытах *in vitro* облучали 1 мин в камере для экстракорпорального облучения. Активность и кинетические свойства АлДГ и ЛДГ определяли в гемолизате эритроцитов (1:40). В качестве источника ЭМИ использовали ППЛ Микрон С-01 «Сполах» ( $\lambda = 890$  нм, мощность – 0,5 мВт). Полученные результаты обрабатывали с использованием t-критерия Стьюдента.

*Результаты.* Показано, что излучение ППЛ способствовало увеличению активности АлДГ (более чем на 100%), ЛДГпр (на 70%) и ЛДГобр (более чем на 100%) по сравнению с активностью ферментов до облучения. После облучения выявлена отрицательная корреляция между ЛДГобр и АлДГ ( $r = -0,999$ ;  $p < 0,000$ ). Облучение ППЛ вызвало статистически значимое увеличение каталитической эффективности АлДГ, ЛДГпр, ЛДГобр в 6; 2,5 и 3,7 раза. Выявлено достоверное увеличение сродства ЛДГобр к субстрату в 3 раза после облучения ППЛ по сравнению с показателем крыс с ожогом до облучения. При изучении влияния субстратов лактатдегидрогеназной реакции на активность и кинетические показатели АлДГ в эритроцитах крови крыс с ожогом до и после облучения показано статистически значимое увеличение активности АлДГ более чем на 100% на фоне ППЛ после термической травмы при добавлении и лактата, и пирувата. Внесение пирувата на фоне ППЛ улучшает кинетические показатели АлДГ эритроцитов.

*Заключение.* Установлено активирующее воздействие излучения ППЛ на регуляторные свойства АлДГ и ЛДГ. Предположительный механизм действия ППЛ заключается в том, что, поглощаясь тканями, излучение ППЛ практически целиком превращается в тепловую энергию молекул, что приводит к их переводу в новое конформационное состояние с другой реакционной способностью, вызывая изменение активности ферментов.

Соловьева А.Г.

### **ОЦЕНКА РЕГУЛЯТОРНЫХ СВОЙСТВ ОКСИДОРЕДУКТАЗ ПЕЧЕНИ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ТРАВМЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО КРАСНОГО СВЕТА**

ФГБУ «ННИИТО» Минздрава России, г. Нижний Новгород, Россия

*Solovyova A.G. (Nizhny Novgorod, RUSSIA)*

#### **EVALUATION OF REGULATORY PROPERTIES OF LIVER OXIDOREDUCTASES IN EXPERIMENTAL THERMAL INJURY UNDER LOW-LEVEL RED LIGHT IRRADIATION**

*Обоснование.* Одной из актуальных проблем современной комбустиологии является поиск эффективных способов кор-