

расстройств при остром перитоните, что во многом определяет тяжесть заболевания и его прогноз. Важным представляется исследование спектра патологических изменений в жизненно важных органах и системах, вызванных эндотоксемией. Нарушения деятельности сердечно-сосудистой системы являются значимыми, поскольку гемодинамические сдвиги потенцируют развитие и прогрессирование полиорганной недостаточности.

Цель работы – экспериментальное исследование влияния лазеротерапии (ЛТ) на функционально-метаболический статус миокарда при синдроме эндогенной интоксикации перитонеального генеза.

Материалы и методы. В основу работы положены экспериментальные исследования на взрослых беспородных половозрелых собаках ($n = 24$). Животным моделировали острый перитонит, на 1, 3 и 5-е сутки заболевания под наркозом проводили релaparотомию, биопсию ткани миокарда и осуществляли забор крови. В крови изучали некоторые маркеры эндогенной интоксикации. Исследовали морфологическое и функциональное состояние миокарда, качественный и количественный состав липидов, интенсивность ПОЛ, активность фосфолипазы А2 (ФЛА2) в ткани миокарда. В первой (контрольной) группе ($n = 12$) проводили инфузионную (внутривенные введения 5% раствора глюкозы и 0,89% раствора хлорида натрия из расчета 50 мл/кг массы животного) и антибактериальную (внутримышечные инъекции 2 раза в сутки раствора гентамицина из расчета 0,8 мг/кг массы тела) терапию. Во второй (опытной) группе ($n = 12$) исследовали влияние внутрисосудистого низкоинтенсивного лазерного излучения на выраженность нарушений гомеостаза и функционально-метаболический статус миокарда. Для проведения ЛТ использовали аппарат «Матрикс», применяли головку КЛ-ВЛОК, световоды КИВЛ-01 (мощность на выходе световода 2 мВт, время воздействия 15 мин). Полученные цифровые данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием критерия t Стьюдента, корреляционную зависимость оценивали по коэффициенту r .

Результаты. ЛТ показала свою эффективность в уменьшении выраженности эндотоксинемии. Сопоставление результатов контрольной и опытной групп выявило достоверное снижение активности ФЛА2 и процессов перекисного окисления липидов, меньшие изменения состава основных мембранообразующих липидов и их фракций с детергентным действием, уменьшение биоэлектрических изменений в миокарде.

Плавский В.Ю., Барулин Н.В., Водчиц А.И., Ходасевич И.А., Грабчиков А.С., Батай Л.Е., Плавская Л.Г., Третьякова А.И., Микулич А.В., Капская Т.С., Орлович В.А.

РЕАКЦИЯ КЛЕТОК ЖИВОТНЫХ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕПРЕРЫВНОГО, КВАЗИНЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Plavsky V.Yu., Barulin N.V., Vodchits A.I., Khodasevich I.A., Grabchikov A.S., Batai L.E., Plavskaya L.G., Tretyakova A.I., Mikulic A.V., Capskaya T.S., Orlovich V.A. (Minsk, BELARUS)
RESPONSES OF ANIMAL CELLS AT CONTINUOUS, QUASI-CONTINUOUS AND PULSED LASER RADIATION

Обоснование. Последние достижения в области физики и техники лазеров сделали доступными для широкого клинического использования лазерные источники, генерирующие излучение в непрерывном, модулированном, квазинепрерывном и импульсном режимах. Однако преимущества и недостатки указанных режимов регуляторного воздействия излучения отнюдь не очевидны.

Цель работы – провести сравнительные исследования биологической активности непрерывного, квазинепрерывного и импульсного лазерного излучения нано- и пикосекундного временных диапазонов низкой интенсивности при его одинаковой средней плотности мощности (3 мВт/см²).

Материалы и методы. В качестве объектов воздействия использовались: зоопланктон (жабронный рачок) *Artemia salina* L и сперма осетровых рыб. Воздействие осуществляли излучением второй гармоники (длина волны излучения 532 нм, средняя мощность излучения ~30 мВт) Nd: YAG-лазеров, работающих в непрерывном и квазинепрерывном (частота следования импульсов $F = 1$ кГц, длительность импульсов $\tau = 100$ нс) режимах, а также в импульсном режиме при генерации наносекундных ($\tau = 15$ нс, $F = 10$ Гц) и пикосекундных ($\tau = 60$ пс, $F = 20$ Гц) импульсов. Тестом на воздействие лазерного излучения на зоопланктон являлся процент выклева науплиусов из цист после активации яиц в соленой воде в условиях поддержания стабильного теплового режима. Показателями биологического действия излучения на сперму рыб служили данные о продолжительности подвижности сперматозоидов, а также об их криволинейной скорости после активации водой.

Результаты. Впервые показано, что несмотря на существенные различия в пиковых значениях интенсивности воздействующего фактора, как непрерывное и квазинепрерывное излучение, так и излучение нано- и пикосекундного диапазонов способно в определенном интервале дозовых нагрузок оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее действие на все исследуемые параметры функциональной активности биологических систем. Характерно, что в случае нано- и пикосекундного режимов стимулирующее действие наблюдается в очень узком диапазоне доз: 30–60 мДж/см². При увеличении дозы наблюдается быстрое подавление функциональных характеристик биологических систем: при дозовой нагрузке 1,8 Дж/см² продолжительность подвижности сперматозоидов сокращается по сравнению с контролем более чем 2 раза. Эффект существенно зависит от спектрального диапазона излучения: при воздействии на зоопланктон излучения с длиной волны 808; 1176 и 1342 нм наблюдается стимуляция выклева науплиев, а при воздействии излучения 632,8; 976 и 1064 нм – ингибирование. Колоколообразный характер дозовых зависимостей при контроле функциональных характеристик отличающихся по своей структурной организации биологических систем свидетельствует, с одной стороны, о «мягком» регуляторном характере действия лазерного излучения, а с другой стороны – об общебиологическом значении полученных результатов.

Плавская Л.Г.¹, Козленкова О.А.¹, Дудинова О.Н.¹, Микулич А.В.¹, Леусенко И.А.¹, Третьякова А.И.¹, Плавский В.Ю.¹, Gao Jing², Xiong Daxi², Wu Xiaodong²

ФОТОУСТОЙЧИВОСТЬ БИЛИРУБИНА И СЕНСИБИЛИЗИРОВАННОЕ ИМ ФОТОПОВРЕЖДЕНИЕ КЛЕТОК ЖИВОТНЫХ В КУЛЬТУРЕ

¹ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;

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

Plavskaya L.G., Kozlenkova O.A., Dudinova O.N., Mikulic A.V., Leusenko I.A., Tretyakova A.I., Plavsky V.Yu., Gao Jing, Xiong Daxi, Wu Xiaodong (Minsk, BELARUS; Sychzhou, CHINA)
PHOTOSTABILITY OF BILIRUBIN AND SENSITIZED BILIRUBIN PHOTODAMAGE OF ANIMAL CELLS IN THE CULTURE

Обоснование. Фототерапия гипербилирубинемии новорожденных детей – яркий пример эффективности пользования оптических технологий в медицине. Вместе с тем в последние годы начали появляться данные, что применение фототерапии при лечении гипербилирубинемии у новорожденных с предельно низкой массой тела (500–700 г) может негативно сказываться на состоянии их здоровья.

Цель работы – изучение закономерностей и механизма сенсibilизированного билирубином повреждения клеток в культуре при воздействии излучения светодиодных источников синей и зеленой областей спектра, соответствующего полосе

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

Материалы и методы. Фотоустойчивость 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 мартовки 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 фотоинаktivации клеток играет синглетный кислород. Характерная особенность дозовых кривых фотоинаktivации – 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.¹, Микулич А.В.¹, Леусенко И.А.¹,
Третьякова А.И.¹, Плавская Л.Г.¹, Сердюченко Н.С.¹,
Gao Jing², Xiong Daxi², Wu Xiaodong²

ОПТИМИЗАЦИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОТЕРАПИИ ГИПЕРБИЛУРИНЕМИИ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ

¹ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь;

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

Plavsky V.Yu., Mikulic A.V., Leusencko 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/см² 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 инициируются 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/см².

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-