

Механизмы взаимодействия лазерного излучения с биотканями *Mechanisms of laser light interaction with biotissues*

Алексеев Ю.В.¹, Давыдов Е.В.¹⁻³, Луцай В.И.², Дроздова Н.В.¹

К ВОПРОСУ О ЗНАЧЕНИИ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ГИПЕРТЕРМИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВЕТОКИСЛОРОДНОЙ И ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

¹ ФГБУ «ГНЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина ФМБА России», г. Москва, Россия;

² ФГБОУ ВПО «МГУПП», г. Москва, Россия;

³ Ветеринарная клиника «Росвет», г. Москва, Россия

*Alekseev Yu. V., Davydov E. V., Lutsay V. I., Drozdova N. V.
(Moscow, RUSSIA)*

TO THE QUESTION ON THE IMPORTANCE OF HYPERTHERMIA ACCOMPANYING OXYGEN AND PHOTODYNAMIC THERAPY

Известно, что как светокислородный эффект (СКЭ), так и фотодинамический эффект (ФДЭ) происходят вследствие генерации синглетного кислорода. Однако при проведении терапевтических процедур с наиболее эффективными параметрами имеется некоторый нагрев тканей, который, несомненно, влияет на протекание биохимических процессов на клеточном и тканевом уровнях. Во всяком случае при проведении светокислородной терапии (СКТ) раковых опухолей в эксперименте установлено то, что положительный эффект наблюдается и без гипертермии. Однако эффективность с гипертермией значительно выше. При проведении фотодинамической терапии (ФДТ) рекомендованные параметры облучения составляют: экспозиционные дозы от 150 до 600 Дж/см², при плотности мощности 0,15–0,3 Вт/см². При этом используется и плотность мощности при ФДТ рака кожи 0,4–0,8 Вт/см² с хорошими результатами. При СКТ ряда опухолей хорошие результаты получены при экспозиционных дозах 800–850 Дж/см² и плотности мощности от 0,43 до 0,96 Вт/см² при нагреве тканей от 40 до 43 °С. Следует отметить, что при одинаковых параметрах облучения при ФДТ ($\lambda \approx 662$ нм) за счет большей энергии кванта и меньшей глубины проникновения излучения в ткани, чем при СКТ ($\lambda \approx 1264$ –1270 нм) нагрев тканей не менее выражен. Необходимо также учитывать, что при СКЭ в этом диапазоне длин волн энергия частично поглощается водой.

Цель. Выяснить динамику нагрева тканей в широком диапазоне параметров облучения с $\lambda \approx 662$ нм в эксперименте.

Материалы и методы. Свинья, возраст 5 мес., порода уржумская. Диодный лазер «АЛХТ ЭЛОМЕД» производства ООО «ЭЛОМЕД», г. Москва, Россия. Измеритель температуры MS 6501 производства Precision MASTECH Enterprises Co., Китай. Проводилось облучение кожи свиньи с мощностью от 0,1 до 1,5 Вт (интервал измерений – 0,1 Вт), плотностью мощности от 0,1 до 1,5 Вт/см², экспозиционными дозами от 6 до 90 Дж/см² в течение 1 минуты. Исходная температура кожи – 33,4 °С. Облучение проводилось с проведением анестезии (вводная анестезия – с комбинацией препаратов «Золетил» и «Ксилазин», с последующим ведением на ингаляционной анестезии с препаратом «Изофлуран» в комбинации с «Золетилом»).

Результаты. Температура кожи менялась от 39,1 °С при наименьших параметрах облучения до 62,9 °С при наибольших. В интервале плотности мощности от 0,1 до 0,8 Вт/см² – 39,1–51,6 °С соответственно.

Заключение. Кожа свиней является некоторым аналогом кожи человека, из чего следует, что полученные данные сопоставимы. В эксперименте показано, что при применяемых в ФДТ плотностях мощности, температура кожи существенно возрастает, что, несомненно, оказывает дополнительное воздействие на раковые клетки и здоровые ткани. Специалисты, проводящие ФДТ, также отмечают, что повышение плотности мощности до 1 Вт/см² вызывает у пациентов болевые

ощущения, что требует ее снижения, приводящего к удлинению времени процедуры. Однако, как мы видим, и при меньших параметрах имеется некоторая гипертермия, без сомнения являющаяся одним из механизмов ФДТ, то же самое можно сказать и о СКТ, у которых наличествуют некоторая общность и различие. Следует отметить, что при проведении СКТ, как правило, не требуется анестезия, так как через непродолжительное время, даже при большой плотности мощности, наступает анестезирующий эффект. Механизмы этого явления до сих пор не выяснены и нуждаются в дальнейшем изучении.

Астахова Л.В.¹, Галлямутдинов Р.В.¹, Головнева Е.С.^{1,2}, Серышева О.Ю.²

ВЛИЯНИЕ ФОТОМОДУЛЯЦИИ НА ПЛОЩАДЬ ЯДЕР И КОЛИЧЕСТВО МИОСАТЕЛЛИТОВ В РЕГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МЫШЦЕ У ЖИВОТНЫХ РАЗНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП

¹ ГБУЗ «Многопрофильный центр лазерной медицины», г. Челябинск, Россия

² ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Челябинск, Россия

*Astakhova L. V., Gallyamutdinov R. V., Golovneva E. S.,
Serysheva O. U. (Chelyabinsk, RUSSIA)*

EFFECTS OF PHOTOMODULATION AT THE NUCLEI AREA OF MYOSATELLITES AND THEIR AMOUNT IN THE REGENERATING MUSCLE IN DIFFERENT AGE GROUPS OF ANIMALS

Цель. Способность мышечной ткани к регенерации после повреждения обусловлена несколькими взаимосвязанными процессами – пролиферацией миосателлитов, гипертрофией оставшихся жизнеспособных мышечных волокон, фиброзом и неоваскуляризацией. Активация миосателлитных клеток сопровождается изменением их морфометрических и количественных показателей. В рамках данной работы мы исследовали возрастные особенности показателей площади ядер миосателлитов и их количества после инфракрасного лазерного воздействия на регенерирующую мышцу.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на 32 беспородных крысах, разделенных на 2 группы: юных (возраст 3 месяца) и старых (возраст 30 месяцев). Животные были наркотизированы препаратом Золетил. Сформированные хирургические повреждения икроножной мышцы на левой конечности были опытными, где осуществлялось лазерное воздействие (1060 нм, мощность 2,0 Вт, непрерывный сканирующий режим, 60 с, однократно), повреждения на правой конечности служили динамическим контролем. Выведение животных из эксперимента проводили на сроках 7 и 14 суток после операции и лазерного воздействия. Образцы тканей фиксировали в формалине, готовили гистологические срезы, окрашивали гематоксилин-эозином и пикрофуксином по Ван-Гизону, проводили морфометрический анализ цифрового изображения объектов, статистическую обработку данных непараметрическим методом Манна–Уитни, отличия между группами считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты. Данные морфометрии показали, что площадь ядер миосателлитов после лазерного воздействия на мышцу возросла. У старых крыс на 7-е сутки площадь ядер в опытной группе была $41,27 \pm 1,54$ мкм² против $32,81 \pm 1,57$ мкм² в контроле, на 14-е сутки в опытной группе $49,66 \pm 1,53$ мкм² против $37,37 \pm 0,81$ мкм² в контроле. У юных животных на 7-е сутки площадь ядер в опытной группе $41,20 \pm 0,79$ мкм², в контрольной $32,68 \pm 1,07$ мкм²; на 14-е сутки в опытной группе $47,61 \pm 0,84$ мкм² против $35,15 \pm 1,1$ мкм² в контрольной. Количество миосателлитов у старых крыс на 7-е сутки в опытной

группе было $1752 \pm 76,8/\text{мм}^2$ против $1128 \pm 44,4/\text{мм}^2$ в контроле, на 14-е сутки в опытной группе $1488 \pm 80,4/\text{мм}^2$ против $1116 \pm 46,8$. У юных животных на 7-е сутки количество миоцеллюлитов в опытной группе $1848 \pm 94,8/\text{мм}^2$, в контроле $1188 \pm 42,1/\text{мм}^2$; на 14-е сутки $1548 \pm 61/\text{мм}^2$ против $1164 \pm 39,6/\text{мм}^2$. Таким образом, увеличение показателей площади ядер и количества миоцеллюлитов отмечалось в обеих изученных возрастных группах. Достоверных отличий показателей между возрастными группами обнаружено не было. Полученные результаты подтверждают, что лазерное излучение ближнего инфракрасного диапазона стимулирует пролиферативную активность миоцеллюлитов.

Заключение. Таким образом, лазерное воздействие на регенерирующую скелетную мышцу приводит к увеличению площади ядер миоцеллюлитов и их количества, что указывает на активацию процессов репарации и более полноценное восстановление скелетной мышечной ткани после травмы.

Брындин С.В.¹, Халепов О.В.¹, Кузнецов А.А.¹, Терехов А.Д.¹, Баженов С.М.¹, Евстигнеев А.Р.², Козырева В.О.³

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ, ЭНДОТЕЛИЙ-НЕЗАВИСИМОЙ И ЭНДОТЕЛИЙ-ЗАВИСИМОЙ ВАЗОДИЛАТАЦИИ В ДИНАМИКЕ ИШЕМИЧЕСКОГО НЕКРОЗА МИОКАРДА ПРИ ОДНОКРАТНОМ НИЗКОИНТЕНСИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

¹ Смоленский государственный медицинский университет,

г. Смоленск, Россия;

² Лазерная академия наук, г. Калуга, Россия;

³ ФГБОУ «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», г. Москва, Россия

Bryndin S.V., Khalepo O.V., Kuznetsov A.A., Terekhov A.D., Bazhenov S.M., Evstigneev A.R., Kozyreva V.O. (Smolensk, Kaluga, Moscow, RUSSIA)

PECULIARITIES OF REGULATION MECHANISMS OF THE PERIPHERAL BLOOD CIRCULATION, ENDOTHELIUM-INDEPENDENT AND ENDOTHELIUM-DEPENDENT VASODILATION IN THE DYNAMICS OF ISCHEMIC MYOCARDIAL NECROSIS UNDER A SINGLE LOW-LEVEL LASER SESSION

Цель. Оценить влияние однократного дистанционного низкоинтенсивного лазерного воздействия на состояние вегетативной регуляции, периферического кровообращения и способность сосудов микроциркуляторного русла к эндотелий-независимой (ЭНВД) и эндотелий-зависимой вазодилатации (ЭЗВД) в динамике развития ишемического повреждения миокарда (ИПМ) у лабораторных кроликов.

Материалы и методы. У лабораторных кроликов под общим наркозом изучали исходные показатели вариабельности сердечного ритма и периферического кровообращения в кожных покровах методом лазерной доплеровской флоуметрии с выполнением проб на ЭНВД (введение 1% раствора натрия нитропруссиды) и ЭЗВД (введение 1% раствора ацетилхолина), после чего животным 1-й группы выполняли торакотомию, а кроликам 2-й и 3-й групп перевязывали коронарную артерию. Животных 3-й группы подвергали однократному дистанционному действию низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) с помощью лазера «Узор-2К», длина волны – 0,89 мкм, частота следования импульсов – 1500 Гц, 8-минутная экспозиция. Кроликам 2-й группы проводили мнимое облучение.

Результаты. У животных с ИПМ выявленное в ранние сроки снижение выраженности парасимпатических влияний на 7-е сутки сменялось повышением их активности. У кроликов, получавших НИЛИ, мощность спектра в диапазоне колебаний высокой частоты, отражающая влияние парасимпатической системы, на 7-е сутки оказалась больше, чем во 2-й группе на 34%. Выявленное на 3-й, 10-й и 21-е сутки у животных 2-й группы снижение перфузии и повышение вазомоторной активности микрососудов сопровождалось нарастанием

нейрогенных и эндотелиальных влияний на сосудистый тонус. У кроликов, получавших НИЛИ при ИПМ, вазомоторная активность микрососудов не различалась с контрольными значениями во все сроки исследования, перфузия на уровне микроциркуляторного русла поддерживалась вплоть до 10 суток, что сопровождалось более значительным увеличением нейрогенных, миогенных и эндотелиальных влияний.

Способность микрососудов к ЭНВД и ЭЗВД не изменялась у всех животных с ИПМ, а на 21-е сутки оказалась повышенной. Однако у кроликов, облученных лазером, выраженность локальных механизмов контроля была меньше, чем во 2-й группе при ЭНВД во все сроки исследования, а при ЭЗВД на 21-е сутки, что может свидетельствовать о снижении реактивности периферического кровообращения.

Заключение. Таким образом, НИЛИ оказывало влияние как на системы вегетативной регуляции, так и на локальные механизмы контроля микрососудистого тонуса, что способствовало поддержанию гемодинамики в условиях ИПМ. Лазерное воздействие оптимизировало перфузию тканей в остром периоде, однако в отдаленные сроки как при ЭНВД, так и при ЭЗВД, обнаружено ограничение локальных механизмов регуляции микроциркуляции.

Брындин С.В.¹, Карасев А.С.¹, Халепов О.В.¹, Афанасенкова Т.Е.², Евстигнеев А.Р.¹, Роева Д.А.¹, Орлов В.Д.¹, Горбунов А.С.¹, Сорокина А.А.

СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА В ДИНАМИКЕ ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ФОНЕ ГИПЕРТРОФИИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ НИЗКОИНТЕНСИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

¹ Смоленский государственный медицинский университет,

г. Смоленск, Россия;

² Лазерная академия наук, г. Калуга, Россия

Bryndin S.V., Karasev A.S., Khalepo O.V., Afanasenkova T.E., Evstigneev A.R., Roeva D.A., Orlov V.D., Gorbunov A.S., Sorokina A.A. (Smolensk, Kaluga, RUSSIA)

THE STATE OF ELECTRICAL ACTIVITY DYNAMICS OF THE HEART WITH HYPERTROPHY IN EXPERIMENTAL ISCHEMIC DAMAGE AFTER A SINGLE LOW-LEVEL LASER SESSION

Цель. Изучить влияние однократного дистанционного низкоинтенсивного лазерного воздействия на состояние электрической активности сердца у лабораторных кроликов в динамике моделирования ишемического повреждения миокарда (ИПМ) на фоне его гипертрофии.

Материалы и методы. У лабораторных кроликов (1-й и 2-й группы) под общим наркозом после регистрации исходного состояния электрической активности сердца моделировали стеноз аорты наложением на нее хомута. Контролем служили животные 3-й группы, которым выполняли торакотомию. На 21-е сутки после регистрации ЭКГ кроликам 1-й и 2-й групп проводили перевязку коронарной артерии, а животным 3-й группы – повторную торакотомию. После моделирования ИПМ кроликов 1-й группы однократно облучали низкоинтенсивным лазером «Узор-2К» с длиной волны 0,89 мкм, частотой следования импульсов 1500 Гц и 8-минутной экспозицией в области правого бедра. Кроликам 2-й группы проводили мнимое облучение. Регистрацию ЭКГ проводили всем животным непосредственно после второй операции и на 1, 3, 7, 10 и 21-е сутки после нее.

Результаты. На 21-е сутки после обструкции аорты у животных 1-й и 2-й групп обнаружены ЭКГ-признаки гипертрофии миокарда: амплитуда зубцов R и S увеличилась по сравнению с исходными значениями соответственно на 23,9 и 87,5%, что сопровождалось повышением частоты сердечных сокращений.

Выявленные на 1-е сутки после перевязки коронарной артерии у животных 2-й группы ЭКГ-признаки ИПМ (подъем