

DOI: <https://doi.org/10.51922/2616-633X.2021.5.2.1145>

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОМОДИФИКАЦИИ КРОВИ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ

О.В. Ласкина¹, Г.А. Залесская², Н.П. Митьковская¹Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет», Минск, Республика Беларусь¹Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси²

УДК 616.127-009.72-08:615.849.19

Ключевые слова: нестабильная стенокардия, облучение крови низкоинтенсивным оптическим излучением, надвенное лазерное облучение крови, ультрафиолетовая модификация крови, фотомодификация крови, кислородный обмен, активные формы кислорода.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ. О.В. Ласкина, Г.А. Залесская, Н.П. Митьковская. Применение фотомодификации крови низкоинтенсивным оптическим излучением в комплексном лечении пациентов с нестабильной стенокардией. *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*, 2021, Т. 5, № 1, С. 1145–1150.

Изучено воздействие *in vivo* низкоинтенсивного оптического излучения (НИОИ) на кровь пациентов с нестабильной стенокардией (НС). В комплексную терапию пациентов с НС, получавших медикаментозную терапию, а именно дезагреганты (аспирин, клопидогрел), антикоагулянты (низкомолекулярные гепарины), бета-адреноблокаторы, ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, статины, включалось надвенное лазерное облучение крови и ультрафиолетовая модификация крови. Показано, что применение НИОИ в комплексной терапии пациентов с НС приводит к положительным сдвигам в системе утилизации кислорода. На всех стадиях светового воздействия изучены изменения: спектров поглощения образцов крови пациентов, характеристик оксигенации крови и содержания продуктов метаболизма. Установлено, что поглощение НИОИ кровью приводит к ее фотомодификации, проявляющейся в изменениях

парциального давления газов крови, содержания оксигемоглобина и степени насыщения гемоглобина кислородом. НИОИ влияет на кислородный обмен в организме пациентов с НС, изменяет доставку и потребление кислорода тканями, инициирует положительные изменения баланса между наработкой активных форм кислорода, выступающих в роли физиологически активных соединений, и их ингибированием антиоксидантными системами. Анализ электронных спектров поглощения показал, что спектральные изменения вызваны изменениями содержания окси- и дезоксигемоглобина при фотодиссоциации комплексов гемоглобина с лигандами, которая обратима в присутствии кислорода. Спектральные изменения, подобные для использованных длин волн, каждая из которых поглощается кровью, отличались по величине для образцов крови отдельных пациентов вследствие отличающихся коэффициентов поглощения крови и индивидуальной восприимчивости пациентов к воздействию НИОИ на кровь.

APPLICATION OF PHOTOMODIFICATION OF BLOOD USING LOW-INTENSITY OPTICAL RADIATION IN THE COMBINATION TREATMENT OF PATIENTS WITH UNSTABLE ANGINA

O. Laskina¹, G. Zaleskaya², N. Mitkovskaya¹Belarusian State Medical University, Minsk, Republic of Belarus¹Scientific Institution B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus²

Key words: unstable angina, blood irradiation with low-intensity optical radiation, blood photomodification, oxygen exchange, reactive oxygen intermediates.

FOR REFERENCES. O. Laskina, G. Zaleskaya, N. Mitkovskaya. Application of photomodification of blood using low-intensity optical radiation in the combination treatment of patients with unstable angina. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1145–1150.

The *in vivo* effect of low-intensity optical radiation (LIOR) on the blood of patients with unstable angina (UA) was studied. The integration of LIOR in the combined therapy of patients with UA proved to result in positive changes in the oxygen uptake system. Changes in the absorption spectra of the patients' blood samples, blood oxygenation characteristics, and the proportion of metabolic products were studied at all stages of light exposure. The absorption of LIOR by the blood was found to lead to its photomodifica-

tion, which was manifested in changes of the partial pressure of blood gases, the content of oxyhemoglobin and the degree of saturation of hemoglobin with oxygen. LIOR affects the oxygen exchange in the body of patients with UA, changes the delivery and consumption of oxygen by tissues, initiates positive changes in the balance between the production of reactive oxygen intermediates, acting as physiologically active compounds, and their inhibition by antioxidant systems.

Введение

Совершенствование методов лечения и реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ), такими как нестабильная стенокардия (НС), остается актуальной проблемой в связи с непрерывным ростом заболеваемости, высокими показателями инвалидизации и смертности [1]. По результатам многолетнего применения в различных медицинских центрах внутрисосудистое и надсосудистое облучение крови низкоинтенсивным оптическим излучением (НИОИ) различных длин волн было отнесено к числу физиотерапевтических методов, оказывающих разностороннее терапевтическое действие, и рекомендовано для лечения широкого круга заболеваний [2]. Кардиологическая практика показала перспективность использования НИОИ.

Сфера терапевтического применения НИОИ постоянно расширяется эмпирическим путем. Воздействие оптического излучения на кровь, получившее название фототерапии (ФГТ), – быстро прогрессирующая область современной медицины, успешно развивавшаяся в XX столетии. Однако, несмотря на несомненные успехи, результаты, полученные разными авторами, плохо поддаются обобщению вследствие их разнородности, а прогноз терапевтических результатов затруднен из-за отсутствия научно обоснованных критериев для успешного применения метода: способа оценки ее эффективности для отдельных пациентов, методов контроля индивидуальной восприимчивости к фототерапевтическим процедурам. Анализ результатов влияния НИОИ на кровь и кислородзависимые процессы в организме пациентов представляет первостепенный практический интерес для ФГТ. Хотя современное медикаментозное лечение способно оказывать положительное влияние на течение ишемической болезни сердца, развитие рефрактерности к антиангинальным препаратам, их побочные эффекты, проявляющиеся у ряда пациентов, заставляют разрабатывать новые инновационные методы лечения, оказывающие влияние на снабжение тканей кислородом. Следует признать, что мы уже знаем достаточно много о механизмах терапевтического действия НИОИ, чтобы проанализировать их применимость для лечения ССЗ, в частности у пациентов с НС, а также выявить специфические особенности его воздействия. Отметим, что изучение закономерностей фотомодификации крови и ее влияния на кислородный обмен имеет большое практическое значение не только для лечения ССЗ, отработанные методы применения и накопленные клинические результаты открывают возможности для использования его при лечении кислородной недостаточности, вызванной коронавирусной инфекцией.

Цель

Изучить первичные фотофизические реакции в крови пациентов с НС, обуславливающие преобразование НИОИ в биологически целесообразную реакцию; выявить пути повышения эффективности воздействия НИОИ при включении в комплексную терапию пациентов с НС, на основании теоретически и экспериментально обоснованного молекулярного механизма действия НИОИ на кровь.

Материалы и методы

В исследование включались пациенты с диагнозом «Ишемическая болезнь сердца: нестабильная стенокардия» с фоновой патологией «Артериальная гипертензия» в возрасте $60,12 \pm 3,60$ лет, без коморбидной патологии. Изучено 100 образцов крови пациентов с НС. Пациенты были разделены на три группы: основная группа № 1, 30 пациентов, в комплексное лечение которых включалось надвенное лазерное облучение крови в локтевой вене (НЛОК); основная группа № 2, 30 пациентов, в комплексное лечение которых включалась ультрафиолетовая модификация крови (УФМК) и группа сравнения 20 пациентов. Пациенты во всех группах получали медикаментозную терапию, включающую следующие группы препаратов: дезагреганты (аспирин, клопидогрел), антикоагулянты (низкомолекулярные гепарины), бета-адреноблокаторы, ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента, статины. Пациенты основных групп и группы сравнения были сопоставимы по полу, возрасту, фоновой патологии. НЛОК проводилось пациентам основной группы № 1 излучением полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 670$ нм (мощность 200 мВт, длительность облучения $t = 20$ мин, аппарат «Родник», Беларусь), курс – 7 ежедневных процедур, начало терапии через 48 часов после поступления в стационар. Как показали оценки, выполненные с учетом коэффициентов поглощения и рассеяния света, при таком способе воздействия около 70% излучения, падающего на поверхность кожного покрова, достигает крови в вене. Для всех пациентов использовалась одна постоянная доза, рекомендованная к применению Министерством здравоохранения Республики Беларусь (Постановление № 95 от 18.09 2007 г.). Для проведения УФМК пациентам основной группы № 2 применялось низкоинтенсивное ультрафиолетовое (УФ) излучение $\lambda = 254$ нм. Осуществлялось проточное облучение крови в аппарате «Надежда», с ртутной лампой в качестве источника излучения. Курс лечения составил 5 процедур, длительностью 40 минут, спустя 48 часов после поступления пациентов в стационар. Образцы крови, взятые до начала светового

воздействия и через 20–30 мин после окончания курса, стабилизировались гепарином. Для нескольких пациентов отбор образцов крови производился перед НЛОК и УФМК и непосредственно во время отдельных процедур. Сопоставлялись спектры поглощения крови и эритроцитарной массы, результаты оптической оксиметрии, данные общего анализа крови и содержание некоторых продуктов метаболизма.

Спектры поглощения крови в области 200–1200 нм регистрировались на спектрометре Cary 500 (Varian, США). Для спектральных исследований образцы приготавливались в виде тонких пленок цельной жидкой крови и эритроцитарной массы. Спектрофотметрический блок прибора ABL–800 (Radiometer, Дания) позволял по оптическому пропусканию образцов крови на 128 длинах волн (спектральный интервал 478–678 нм) за одно измерение определять степень насыщения венозной крови кислородом (S_vO_2), содержание оксигемоглобина ($F_v(HbO_2)$). Степень насыщения артериальной крови кислородом (S_aO_2) оценивалась по данным пульсоксиметрии (ЮМ–300, ЮТАС, Украина). На газоанализаторе ABL–800 измерялись парциальные давления кислорода (p_vO_2) и CO_2 (p_vO_2) в венозной крови. Концентрация холестерина определялась на биохимическом анализаторе FP–01 (LabSystems, Финляндия).

Статистический анализ. В расчетах использованы параметрические методы статистики. При сравнительном анализе для показателей с нормальным распределением применяли t-критерий Стьюдента. Анализ результатов исследования проводили на программы Statistica 10.0. Корреляционный анализ выполняли с использованием критерия Пирсона (уровень значимости принимался $p < 0.05$).

Результаты и их обсуждение

В наших работах [3, 4] было показано, что воздействие на кровь различных источников НИОИ: излучения He–Ne лазера; УФ – излучения ртутной лампы ($\lambda = 254$ нм); излучения полупроводниковых лазеров ($\lambda = 670, 800$ нм) приводит к подобным изменениям спектра поглощения крови в областях чувствительных к оксигенации крови. К ним относятся полосы Сорэ, дублет полос 540 и 570 нм, область 650–950 нм. Анализ электронных спектров поглощения показал, что спектральные изменения в указанных областях вызваны изменениями содержания окси- и дезоксигемоглобина (Hb) при фотодиссоциации комплексов гемоглобина с лигандами, которая обратима в присутствии кислорода. Спектральные изменения, подобные для использованных длин волн, каждая из которых поглощается кровью, отличались по величине для образцов крови отдельных

пациентов вследствие отличающихся коэффициентов поглощения крови и индивидуальной восприимчивости пациентов к воздействию НИОИ на кровь.

Как уже было показано нами в работах [3–7], фотодиссоциация комплексов гемоглобина с лигандами под влиянием поглощения оптического излучения Hb крови приводит к изменениям характеристик оксигенации крови: степени насыщения венозной крови кислородом (S_vO_2), концентрации оксигемоглобина ($F_v(HbO_2)$), парциальных давлений p_vO_2 , p_vCO_2 . Изменения этих характеристик подтверждают предложенный механизм действия оптического излучения на кровь. Гемоглобин, имеющий на использованных для ФГТ длинах волн коэффициенты поглощения, значительно превосходящие коэффициенты поглощения других молекулярных компонентов крови, является первичным фотоакцептором лазерно-оптического излучения, а фотодиссоциация комплексов гемоглобина с лигандами – первичный фотопроект, инициируемый в крови НИОИ. Следует отметить, что фотопревращения Hb происходят непосредственно в эритроцитах. Облучение крови НИОИ способно вызывать структурные изменения мембран эритроцитов и внутриэритроцитарной среды [8]. Благоприятное воздействие НИОИ обусловлено: повышением проницаемости эритроцитов для ионов и газов, ускоряющей диффузию газов, чрезвычайно важную для транспортировки и высвобождения кислорода; улучшением их деформируемости вплоть до изменения формы; увеличением популяции молодых эритроцитов с более развитой системой метаболизма; дезагрегацией эритроцитов, улучшающей реологические свойства крови. Количество эритроцитов в крови пациентов контролировалось нами в течение всего курса ФГТ. Существенно не изменялось содержание Hb, защищенного от низкоинтенсивного лазерно-оптического излучения мембраной эритроцита и примембранным слоем гликопротеинов.

В течение курсов НИОИ наблюдались осцилляции характеристик оксигенации крови с возрастанием их величины во время процедуры и снижением после ее окончания. В образцах крови пациентов с НС исходные значения (p_vO_2) и (S_vO_2), находившиеся в интервале $15 < p_vO_2 < 30$ мм рт.ст., $15 < S_vO_2 < 35\%$, были ниже нормальных для венозной крови. Тенденция к повышению до нормальных значений: $p_vO_2 = 40$ мм рт.ст., $S_vO_2 = 70\%$ во время процедур обуславливает положительное терапевтическое действие НИОИ. Происходящие в течение курса изменения характеристик оксигенации показывают, что их количественное сопоставление возможно только для образцов, отобранных в одинаковые, фиксированные по отношению к началу процедуры моменты времени.

Полученные результаты позволяют оценить влияние НИОИ на такие важные характеристики кислородного обмена, как содержание кислорода в артериальной (St_AO_2) и венозной крови (St_VO_2): ($St_{A,V}O_2$) = [Hb] 1.39 ($S_{v,A}O_2/100 + 0.0031p_{v,A}O_2$, где [Hb] – концентрация гемоглобина, а также артериовенозную разность по кислороду $ABP = St_AO_2 - St_VO_2$, которая определяет концентрацию извлекаемого из крови кислорода.

Снижение кровотока у пациентов с НС приводило к компенсаторному увеличению экстракции кислорода, которым компенсировалось нарушение его транспорта. Часть кислорода, поглощаемая тканями из капиллярного русла, оценивалась по коэффициенту утилизации ($K_{утил.}$) кислорода, для расчета которого нет необходимости в измерениях сердечного выброса: $K_{утил.} = ABP/St_VO_2$. В течение курсов НИОИ величины $K_{утил.}$, так же как S_vO_2 и p_vO_2 , претерпевали периодические осцилляции (рис. 1). Наибольшие положительные изменения коэффициентов $K_{утил.}$, отражающие нормализацию процессов утилизации O_2 тканями, происходили во время процедур облучения. В это время патологически повышенные исходные значения $K_{утил.}$ типичные для пациентов с НС, приближались к нормальным ($22 < K_{утил.} < 32\%$), то есть во время процедур ФГТ создавались условия для адекватного поступления кислорода в ткани.

Важной особенностью ФГТ является избирательность воздействия на показатели оксигенации крови отдельных пациентов. В конце курса ФГТ у пациентов обследуемых групп коэффициенты $K_{утил.}$ сильно отличались. В некоторых случаях конечные значения были выше нормальных, то есть потребление кислорода – $PO_2 = CB (St_AO_2 - St_VO_2)$ превышало его доставку $D = CB (St_AO_2)$, где

CB – величина сердечного выброса. В целом в конце курсов ФГТ у большинства пациентов утилизация кислорода тканями улучшалась, но у некоторых ухудшалась в зависимости от фотоиндуцированных изменений ΔS_vO_2 (рис. 1). Если применяемые дозы соответствовали оптимальным для данного пациента и приводили к росту S_vO_2 , то курс ФГТ позволял сократить растрату венозных запасов кислорода, присущую пациентам с НС, и содержание кислорода в венозной крови (St_VO_2) увеличивалось. Утилизация кислорода тканями нормализовалась, индивидуальные патологически повышенные коэффициенты утилизации снижались, приближаясь к нормальным значениям. При оптимальных дозах курсы ФГТ выравнивали нарушенное у пациентов с НС соответствие между потребностью тканей в кислороде и его доставкой. Оказывая влияние на кислородный обмен в организме, ФГТ изменяет потребление кислорода тканями в организме, а следовательно, внутриклеточные процессы производства активных форм кислорода (АФК) (синглетный кислород, анион радикал, гидроксильный радикал, H_2O_2 , NO и др.). АФК возникают в живом организме в результате неполного восстановления молекулярного кислорода или изменения спина одного из электронов. Реакция восстановления O_2 до H_2O , протекающая с образованием АФК, составляет основу биоэнергетики живого организма.

Известно, что в физиологических допустимых количествах АФК действуют как регуляторы метаболических процессов, приспособляя обмен веществ к патологическим условиям [9]. Одни и те же АФК способны участвовать как в повреждении клеток и тканей, так и в процессах внутри- и межклеточ-

точной регуляции, противодействующей деструктивному развитию свободнорадикальных реакций в организме. Коррекция баланса между наработкой АФК и их ингибированием системами антиоксидантной защиты была рассмотрена нами как процесс, позволяющий стимулировать положительные эффекты ФГТ. Активация организма представляется в виде следующих стадий: поглощение НИОИ гемоглобином эритроцитов; обратимая фотодиссоциация комплексов Нб лигандами; изменение показателей оксигенации при отделении O_2 , влияющая на насыщение тканей кислородом; активация внутриклеточных процессов образования АФК. Такой молекулярный механизм действия АФК предполагает, что дозозависимые эффекты противоположной направленности, так же как и неудовлетворительные результаты лечения некоторых пациентов методами ФГТ, являются следствием истощения системы антиоксидантной защиты при передозировках или при тяжелом исходном состоянии организма.

Изученные нами под влиянием НИОИ изменения содержания некоторых продуктов метаболизма (холестерина, лактата, глюкозы и др.), а также гемореологии, характеристик гемокоагуляции, взаимосвязанных с фотоиндуцированными изменениями характеристик оксигенации крови, подтверждают единый общий механизм действия НИОИ применительно ко всем патологиям, обусловленный его влиянием на кровь как генерализующую систему. В течение курсов ФГТ для продуктов метаболизма так же, как для показателей оксигенации наблюдались периодические осцилляции их концентраций (рис. 1). Изменения концентраций происходили уже во время процедур, начиная с первой, как это показано для концентрации лактата. Так же как для показателей оксигенации, для продуктов метаболизма наблюдалась тенденция к нормализации их содержания во время процедур ФГТ. Установленная зависимость концентрации продуктов метаболизма от времени измерения может затруднять сопоставление результатов разных авторов, полученные в разные моменты времени по отношению к началу светового воздействия.

В конце курса ФГТ его эффективность для отдельных пациентов зависела от исходных индивидуальных характеристик оксигенации крови и их фотоиндуцированных изменений. Для примера на рис. 2а представлена зависимость изменений активированного частичного тромбопластинового времени ($\Delta C_{АПТВ}$) от (S_vO_2) под влиянием надвенозного лазерного облучения крови (НЛОК). Наибольшие положительные фотоиндуцированные изменения $\Delta C_{АПТВ}$, так же как других величин, происходили в узком интервале изменений ($\Delta K_{утил.}$).

Успешность лечения отдельных пациентов методом ФГТ проявляется в нормализа-

ции содержания исходных продуктов метаболизма. Так, оказывая положительное влияние на липидный обмен при гиперхолестеринемии, ФГТ снижает средние по группе концентрации холестерина и холестерина липопротеинов низкой плотности (рис. 4). Для отдельных пациентов с НС при одинаковых энергетических дозах регуляторное влияние НИОИ на метаболизм проявлялось снижением повышенных исходных концентраций и повышением сниженных, как это продемонстрировано для активированного частичного тромбопластинового времени (рис. 2б). Наличие положительных результатов подтверждает возможность корректировать агрегационные характеристики крови методом ФГТ. Подобные зависимости от исходных концентраций и фотоиндуцированных изменений $K_{утил.}$ были получены нами и для других изученных продуктов метаболизма: глюкозы, лактата, холестерина, Ca^{2+} . Изменение концентрации этих продуктов под влиянием ФГТ подтверждает важную роль фотоиндуцированных изменений кислородзависимых процессов в нормализации метаболических нарушений.

Таким образом, для объективного контроля лечения методами ФГТ (НЛОК, УФМК) необходимо контролировать ключевые параметры кислородного обмена, среди которых наиболее важными являются (S_vO_2 , S_AO_2). Прогнозирование эффективности воздействия НИОИ на кожную ткань только по оценкам локальной суммарной концентрации O_2 в кожной ткани, основанное только на измерениях S_AO_2 , представляется невозможным, так как остается неизвестной доступность кислорода тканям – потребителям кислорода. Отдача O_2 тканям увеличивается не только за счет способности артериальной крови поставлять необходимое количество кислорода тканям, но и за счет механизмов его утилизации. Как показано выше, только

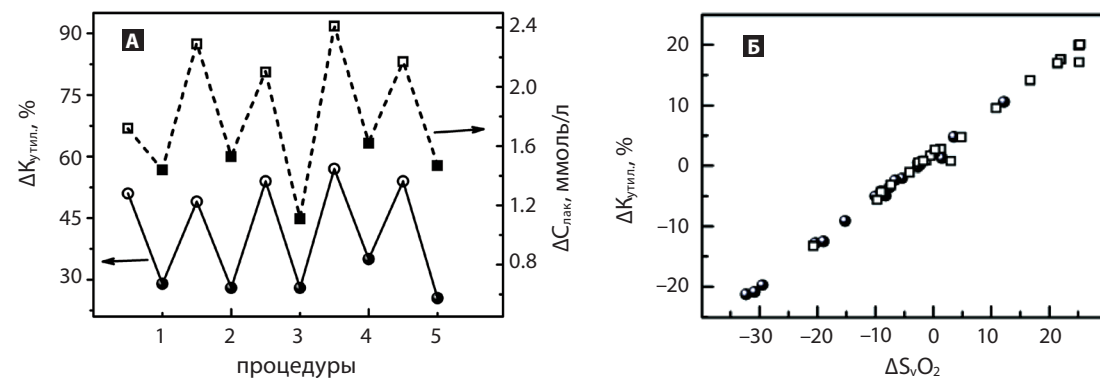


Рисунок 1. (а) – Изменения коэффициента утилизации кислорода $K_{утил.}$ в течение курса лазерного облучения венозной крови ($\lambda = 670 \text{ nm}$) (светлый кружок – перед процедурой, темный кружок – во время процедуры); изменение концентрации лактата $C_{лак.}$ в течение того же курса (светлый квадрат – перед процедурой, темный квадрат во время процедуры). (б) – Зависимости изменений коэффициента утилизации кислорода $\Delta K_{утил.}$ от изменений степени насыщения гемоглобина венозной крови кислородом ΔS_vO_2 при ультрафиолетовой модификации крови (УФМК) (●) и наружном лазерном облучении крови (НЛОК) (□)

Figure 1 (a) – Changes in the oxygen uptake coefficient COF_{uptake} during a course of laser irradiation of venous blood ($\lambda = 670 \text{ nm}$) (the white circle – before the procedure, the dark circle – during the procedure); changes in the lactate concentration C_{lac} during the same course (the white box – before the procedure, the dark box – during the procedure). (b) – Correlation of the oxygen uptake coefficient changes ΔCOF_{uptake} with the changes of oxygen saturation of the venous hemoglobin ΔS_vO_2 during ultraviolet blood modification (UVBI) (●) and external laser blood irradiation (ELBI) (□)

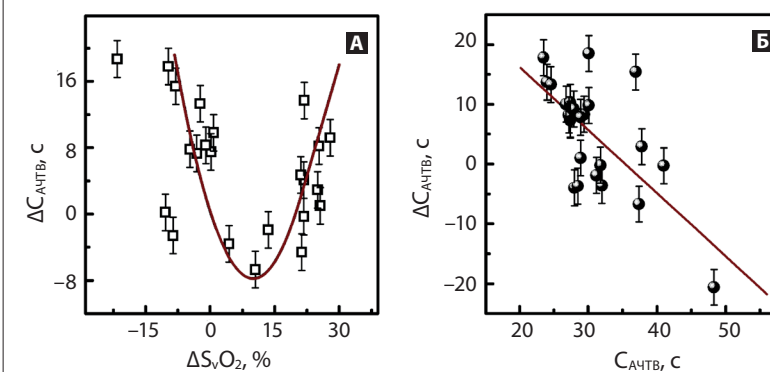


Рисунок 2. (а) – Зависимость изменений активированного частичного тромбопластинового времени ($\Delta C_{АПТВ}$) от фотоиндуцированных изменений (S_vO_2) при наружном лазерном облучении крови (НЛОК) ($\lambda = 670 \text{ nm}$). (б) – Зависимость $\Delta C_{АПТВ}$ от исходных значений $C_{АПТВ}$ для отдельных пациентов ($r = -0.64$, $p < 0.002$) при НЛОК

Figure 2. (a) – Correlation of the changes in the activated partial thromboplastin time (ΔC_{APTT}) with the photoinduced changes (S_vO_2) during external laser blood irradiation (ELBI) ($\lambda = 670 \text{ nm}$). (b) – Correlation of ΔC_{APTT} with the initial values of C_{APTT} for individual patients ($r = -0.64$, $p < 0.002$) during ELBI

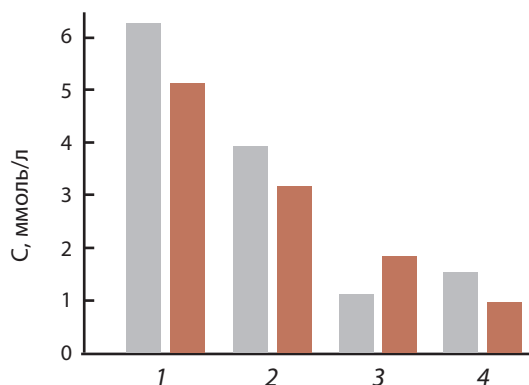


Рисунок 3. Влияние наружного лазерного облучения крови (НЛОК) на концентрацию липидов для группы пациентов с нестабильной стенокардией: средние по группе концентрации холестерина (1), холестерина липопротеинов низкой плотности (2), холестерина липопротеинов высокой плотности (3), триглицеридов (4); до — белые столбики и после окончания курса — черные столбики

Figure 3. External laser blood irradiation (ELBI) effect on the lipid concentration for the group of patients with unstable angina: average values for the group of cholesterol concentrations (1), low-density lipoprotein cholesterol (2), high-density lipoprotein cholesterol (3), triglycerides (4); before the course — white bars and after the course — black bars

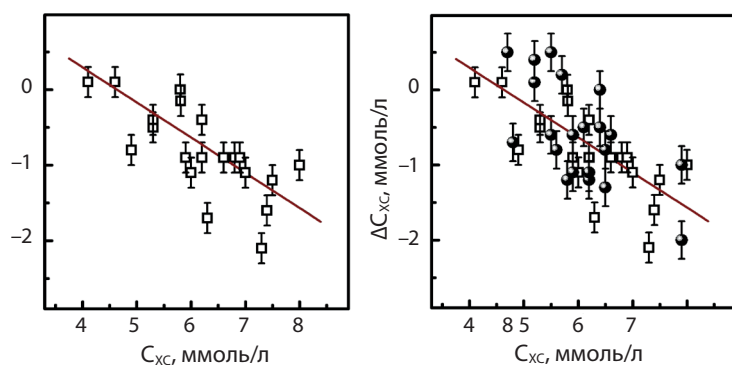


Рисунок 4. Зависимость индивидуальных изменений содержания холестерина ΔC_{cc} от исходной концентрации C_{cc} в крови отдельных пациентов после окончания курсов ультрафиолетовой модификации крови (УФМК) (●) и наружного лазерного облучения крови (НЛОК) (□) (коэффициент линейной корреляции Пирсона $r = -0.69$, $p < 0.01$). Уменьшение концентрации под влиянием фототерапии (ФГТ) представлено как отрицательный результат

Figure 4. Correlation of individual changes of cholesterol content ΔC_{cc} with the initial concentration of C_{cc} in the blood of particular patients upon completion of the courses of UVBI (●) and OLT (□) (Pearson's linear correlation coefficient $r = -0.69$, $p < 0.01$). The decrease in concentration under the influence of photohemotherapy (PHT) is presented as a negative result

REFERENCES

1. Kuzmina N.M., Maksimov N.I. High-technological medical aid in acute coronary syndrome in the Udmurt Republic. *Avicenna Bull.* 2017, vol. 19, no. 1, pp. 37–41.
2. Paleev N.R., Karandashov V.I., Petuchov E.B., Zrodnikov V.S. eds. *Fototerapiya* [Phototherapy]. Moscow: Medizina, 2001. (in Russian).
3. Zaleskaya G.A., Kuchinskii A.V., Ulashchik V.S., Mitkovskaya N.P., Laskina O.V. Spektralnye proyavleniya fotohimicheskikh reaktsiy pri terapevticheskikh dozakh obлучeniya krovi in vivo ultrafioletovym izlucheniem [Spectral signs of photochemical reactions when blood is exposed in vivo to therapeutic doses of ultraviolet radiation]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2008, vol. 75, no. 3, pp. 400–405. (in Russian).
4. Zaleskaya G.A., Laskina O.V. Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical radioelectronics]. *Medizina*, 2010, no. 3, pp. 35–41. (in Russian).
5. Zaleskaya G.A., Akulich N.V., Marochkov A.V., Laskina O.V., Mitkovskaya N.P. Opticheskiye metody korektsii kislorodtransportnykh kharakteristik krovi i ikh biomeditsinskie primeneniya [Optical methods for correction of oxygen-transport characteristics of blood and their biomedical applications]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2010, vol. 77, no. 3, pp. 451–459. (in Russian).

при сохранившейся общей концентрации НВ и возросших под влиянием ФГТ низких величин S_vO_2 , существенно сниженных у пациентов с НС, приближались к норме аномально высокие значения артериовенозной разности по кислороду и $K_{утил.}$, нормализовалось потребление кислорода тканями, улучшалась отдача O_2 тканям.

Закключение

Показано, что облучение крови *in vivo* низкоинтенсивным оптическим излучением (НЛОК, УФМК) оказывает влияние на кислородный обмен пациентов с НС. Улучшение обеспечения кислородом различных органов и тканей не является универсальным эффектом ФГТ, проявляющимся у всех пациентов. Только при нормализации под влиянием курса ФГТ содержания кислорода в артериальной и венозной крови приближается к норме коэффициент $K_{утил.}$, улучшается снабжение тканей кислородом.

Установлена связь между фотоиндуцированными изменениями характеристик оксигенации и содержанием продуктов метаболизма, отражающем эффективность ФГТ. В конце курса изменения концентраций достоверно отличались для разных пациентов и зависели как от исходной концентрации, так и от фотоиндуцированных изменений S_vO_2 . Установлено, что только при оптимальном для данного пациента режиме воздействия наблюдались положительные сдвиги в процессе метаболизма.

Фотомодификация крови является основным процессом при воздействии на организм терапевтических доз НЛОК. Влияя на кислородный обмен в организме, ФГТ способна увеличивать кислородную емкость крови, изменять потребление кислорода тканями и поступление кислорода в клетки, способствуя нормализации внутриклеточных процессов производства АФК. Вышеизложенное позволяет сделать вывод — ФГТ является мощным методом защиты и сдерживания свободно-радикальных реакций, позволяющим организму более успешно справляться с различными патологическими процессами, в том числе с ишемическими повреждениями органов и тканей при НС.

6. Zaleskaya G.A., Laskina O.V., Mitkovskaya N.P., Kirkovskiy V.V. Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical radio electronics]. *Medizina*, 2011, no.12, pp. 3–10. (in Russian).
7. Zaleskaya G.A., Laskina O.V. Vliyaniye terapevticheskikh doz opticheskogo izlucheniya na gazovyy sostav venoznoy krovi [Effect of therapeutic doses of optical radiation on gas composition of venous blood]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2013, vol. 80, no. 2, pp. 274–278. (in Russian).
8. Zaleskaya G.A., Laskina O.V. Korrektsionnyye vliyaniye terapevticheskikh doz opticheskogo izlucheniya NA gematologicheskie pokazateli krovi, obлучaemoy in vivo [Correcting effect of therapeutic doses of optical radiation on hematological parameters of blood irradiated in vivo]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2017, vol. 84, no. 3, pp. 428–433. (in Russian).
9. Zenkov N.K., Lankin V.Z., Menshikova E.B. *Oksidativnyy stress: Biomeditsinskii i patofiziologicheskie aspekty* [Oxidative Stress: Biomedical and Pathophysiological Aspects]. Moscow, 2001. (in Russian).

Поступила 01.04.2021