

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ НА СОДЕРЖАНИЕ В НЕЙ ХОЛЕСТЕРИНОВ

Г. А. Залеская^{a*}, О. В. Ласкина^b, Н. П. Митьковская^b, В. В. Кирковский^b

УДК (577.344+541.14):577.161.2.011

^a Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси,
220072, Минск, просп. Независимости, 68; e-mail: zalesskaya@imaph.bas-net.by

^b Белорусский государственный медицинский университет, Минск

(Поступила 18 ноября 2011)

Изучено влияние экстракорпорального ультрафиолетового облучения крови на холестериновый обмен у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Выполнен комплексный анализ спектральных характеристик крови и плазмы, показателей газообмена и оксиметрии, результатов общего и биохимического анализа крови до и после УФ облучения крови. Оценены изменения концентрации холестерина (общего холестерина, холестерина липопротеинов низкой плотности, триглицеридов) в крови пациентов под влиянием пятидневного курса УФ облучения крови. Инициированные поглощением УФ излучения изменения спектральных характеристик крови и плазмы, биохимических показателей, газового состава и фракционного состава гемоглобина использованы для обсуждения молекулярных механизмов действия терапевтических доз УФ излучения на холестерин крови.

Ключевые слова: ультрафиолетовое облучение крови, спектры поглощения крови и плазмы в УФ—видимом и ИК диапазонах, холестерин, холестерин липопротеинов низкой плотности, степень насыщения гемоглобина кислородом, активные формы кислорода.

An effect of extracorporeal ultraviolet blood irradiation (UVBI) on cholesterol metabolism has been investigated in patients with cardiovascular diseases. Before the UVBI treatment and after its completion, a comprehensive analysis of spectral characteristic of blood and plasma, gas exchange and oximetry parameters, and common and biochemical analysis data has been performed. Alterations of cholesterol concentrations (total cholesterol, cholesterol in low density lipoproteins, and level of triglycerides) in the patient blood have been estimated after a 5-day course of UVBI. The changes in the blood and plasma spectral characteristics, in biochemical data, and in the hemoglobin gas and fractional compositions have been used to consider molecular mechanisms for the influence of therapeutic doses of UV radiation on the blood cholesterol.

Keywords: UV blood irradiation, absorption spectra of blood and plasma in UV and Vis, cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol, hemoglobin oxygenation degree, oxygen reactive species.

Введение. Ультрафиолетовое облучение крови (УФОК) — один из методов фототерапии (светолечения), успешно развивавшейся на протяжении XX столетия. Еще в 1903 г. за успехи, достигнутые в применении фототерапии, датскому физиологу Нильсу Финсену была присуждена Нобелевская премия. Начиная с 20-х гг. прошлого столетия большая программа научных исследований УФОК выполнялась в США Кноттом (Emmet Knott) [1]. Разработанные им методики УФОК легли в основу используемых в настоящее время в медицинской практике США и других стран мира. УФОК получило широкое признание в медицине благодаря многообразию положительных воздействий на кровь и высокой терапевтической эффективности. Было показано [2, 3], что внутрисосудистое и надсосудистое облучение крови оптическим излучением различных длин волн, в том числе УФ диапазона, нормализует большинство биохимических показателей, вызывая благоприятные сдвиги в организме. Так, было установлено, что воздействие светового излучения (особенно УФ диапазона) способно оказывать влияние на реакции свободнорадикальной перекисной дегградации липидов, что создает возможности для снижения содержания некоторых фракций хо-

EFFECT OF EXTRACORPOREAL ULTRAVIOLET BLOOD IRRADIATION ON CHOLESTEROL CONTENTS IN BLOOD

G. A. Zalesskaya^{a*}, O. V. Laskina^b, N. P. Mitkovskaya^b, and V. V. Kirkovsky^b (^a B. I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus, 68 Nezavisimosti Prosp., Minsk, 220072, Belarus; e-mail: zalesskaya@imaph.bas-net.by; ^b Belarusian State Medical University, Minsk)

лестеринов, циркулирующих в крови [4, 5]. Поиск, изучение и разработка немедикаментозных методов снижения концентрации холестерина в крови, повышенное содержание которых способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний и осложняет их течение, являются важной биомедицинской проблемой.

Цель настоящей работы — изучение молекулярных механизмов взаимодействия терапевтических доз УФ излучения с компонентами крови и с циркулирующими в крови холестерином, а также количественная оценка влияния экстракорпорального УФОК на концентрацию различных фракций холестерина в крови.

Методы исследования. Использованы данные, полученные при лечении 40 больных с острым коронарным синдромом, в комплексную терапию 25 из них включались пять ежедневных процедур экстракорпорального УФОК, 15 пациентов составляли контрольную группу. В процессе УФОК кровь, протекавшая из локтевой вены через кварцевую кювету емкостью 3 мл, облучалась в течение 20 мин в аппарате “Надежда” излучением ртутной лампы ИВР (80 % излучения с длиной волны $\lambda = 254$ нм, плотность мощности на поверхности кюветы 1.5 мВт/см²), а затем весь объем крови (~150 мл) возвращался больному через облучаемую кювету [3]. Для всех 25 пациентов в течение пятидневного курса использовалась постоянная доза УФОК (0.06 Дж/см²).

Структурные изменения компонентов крови изучались по спектрам поглощения УФ—видимого и ИК диапазонов с детальной расшивкой спектров фурье-деконволюции. Результаты спектрального анализа сопоставлялись с данными биохимического анализа и параметрами оксиметрии. Спектры поглощения образцов свежей, стабилизированной гепарином крови и приготовленной из нее плазмы регистрировались в УФ—видимом—ближнем ИК диапазонах (200—1200 нм) на спектрометре Cary 500 (Varian, США) до и после каждой процедуры УФОК. Образцы приготавливались в виде тонких пленок, помещенных между двумя кварцевыми пластинами, или заливались в кварцевые кюветы постоянной толщины (30 и 130 мкм). ИК спектры поглощения тонких пленок, нанесенных на кристаллические подложки из KRS, записывались на ИК-фурье-спектрометре (Nicolet, США) со спектральной шириной щели 2 см⁻¹ и усреднением 128 сканирований. Разложение полос поглощения на отдельные компоненты выполнялось методом сужения перекрывающихся полос (фурье-самодеконволюция) с помощью программного обеспечения OMNIS. Концентрации общего холестерина (Хс), холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП-Хс), холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП-Хс) и триглицеридов (ТГ) определялись по стандартным клиническим тестам в образцах сыворотки, приготовленной из крови, взятой утром через 12—14 ч после приема пищи. Использовался биохимический анализатор ФП-901 (Labsystems, Финляндия). Спектрофотометрическим методом на приборе ABL-800 (Radiometer, Дания) определялись содержания фракций гемоглобина, степень насыщения гемоглобина кислородом, а также парциальные давления газов крови. Результаты обработаны методами вариационной статистики с оценкой достоверности различия данных по *t*-критерию Стьюдента. Взаимосвязь количественно нормально распределенных признаков определялась с использованием корреляционного критерия Пирсона (*r*). Уровень значимости различий принят $p < 0.01$.

Результаты исследований. Среди обнаруженных изменений спектров поглощения крови и приготовленной из нее плазмы к числу наиболее важных для изучения влияния УФОК на холестериновый обмен следует отнести следующие.

1. Увеличение поглощения деоксигемоглобина в полосе Сорс (рис. 1), уменьшение провала между дублетными полосами 525—580 нм, а также увеличение поглощения деоксигемоглобина в области 700—900 нм в спектрах крови под влиянием УФОК.

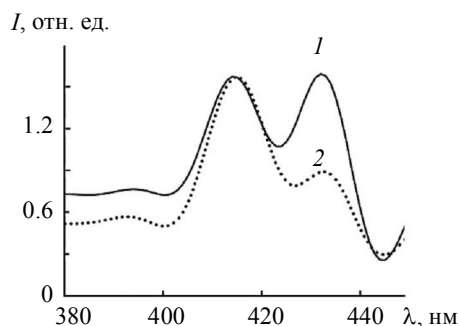


Рис. 1. Спектр деконволюции полосы Сорс образцов крови: 1 — до УФОК, 2 — после пяти процедур УФОК; полоса с $\lambda_{\text{макс}} = 415$ нм принадлежит HbO_2 , с $\lambda_{\text{макс}} = 432$ нм — Hb

2. Отсутствие изменений интенсивности полосы поглощения (ПП) плазмы, расположенной в области 250—300 нм. Уменьшение относительной интенсивности I/I_0 ПП 200—250 нм в спектрах плазмы, приго-

товленной из образцов облученной крови, которое проявлялось в разной степени для образцов плазмы разных пациентов ($1 < I/I_0 < 1.17$, где I_0 и I — интегральные интенсивности ПП до и после УФОК).

3. Изменение под влиянием УФОК соотношения интенсивностей ИК ПП симметричных валентных колебаний СН-связей групп CH_2 (2930 см^{-1}) и CH_3 (2950 см^{-1}) в спектрах образцов облученной плазмы (рис. 2). Отсутствие изменений или слабо выраженные изменения ИК ПП плазмы в областях амид I и амид II (рис. 3).

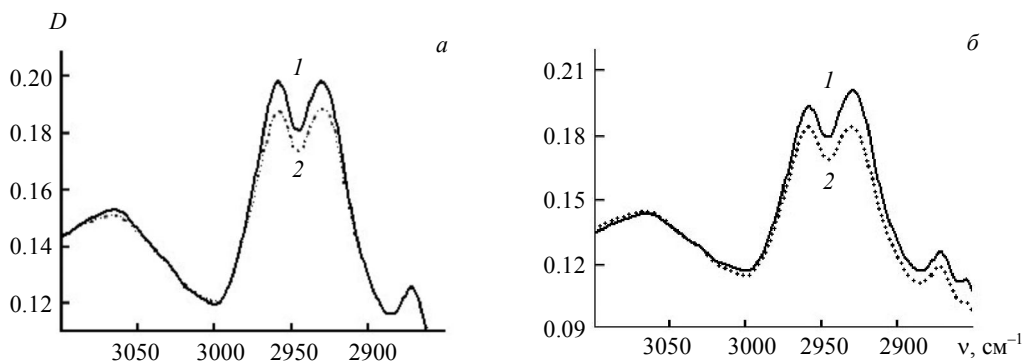


Рис. 2. Изменение под влиянием УФОК ИК полос плазмы пациентов в области поглощения симметричных валентных колебаний СН: *a* — при концентрациях холестерина $C_{\text{Хс}} = 4.8$ ммоль/л до УФОК (1) и 4.1 ммоль/л после пяти процедур УФОК (2); *б* — $C_{\text{Хс}} = 7.9$ ммоль/л до УФОК (1) и 5.9 ммоль/л после пяти процедур УФОК (2)

Анализ содержания холестерина в плазме крови обследуемых пациентов показал, что их средние концентрации снизились под влиянием УФОК: $X_{\text{с}}$ от 6 ± 0.83 до 5.35 ± 0.75 ммоль/л (на 10.5 %); ЛПНП-Хс от 3.78 ± 0.88 до 3.42 ± 0.72 ммоль/л (на 9 %); Тг от 1.67 ± 0.67 до 1.54 ± 0.64 ммоль/л (на 7.8 %). Изменения индивидуальных концентраций $X_{\text{с}}$ ($\Delta C_{\text{Хс}} = C_{\text{Хс}}(\text{до}) - C_{\text{Хс}}(\text{после})$) и ЛПНП-Хс ($\Delta C_{\text{ЛПНП-Хс}}$) в группе из 25 пациентов оказались зависящими от исходной концентрации $C_{\text{Хс}}$ и $C_{\text{ЛПНП-Хс}}$ в крови (рис. 4).

Процедуры УФОК оказывали регуляторный эффект на содержание $X_{\text{с}}$ и ЛПНП-Хс: снижение концентраций $\Delta C_{\text{Хс}}$ и $\Delta C_{\text{ЛПНП-Хс}}$ при высоких исходных значениях $C_{\text{Хс}}$ и $C_{\text{ЛПНП-Хс}}$ в крови пациентов большое; при $C_{\text{Хс}}$ и $C_{\text{ЛПНП-Хс}}$, близких к нормальным, отмечено даже их повышение после пяти процедур (рис. 5). В контрольной группе, в которой лечение пациентов проводилось с использованием традиционной терапии, достоверных изменений концентрации холестерина не выявлено.

Изменения концентрации $\Delta C_{\text{Хс}}$ и $\Delta C_{\text{ЛПНП-Хс}}$ у разных пациентов зависели от снижения степени насыщения гемоглобина венозной крови кислородом (ΔSO_2), которая измерялась перед облучением и непосредственно после пяти процедур УФОК. Максимальные изменения индивидуальных концентраций происходили лишь в интервале $0 < \Delta \text{SO}_2 < 15$ %, величины $\Delta C_{\text{Хс}}$ и $\Delta C_{\text{ЛПНП-Хс}}$ убывали с ростом изменений $|\Delta \text{SO}_2|$ (рис. 6).

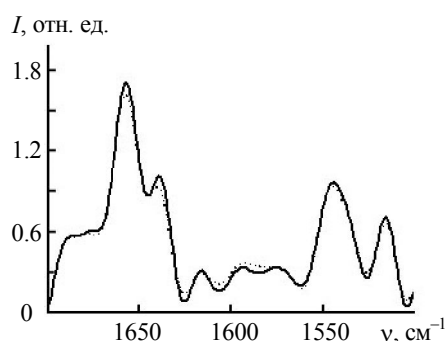


Рис. 3. Спектры деконволюции ИК полос поглощения плазмы в области поглощения амид I и амид II при концентрации плазмы $C_{\text{Хс}} = 7.9$ ммоль/л до УФОК (сплошная линия) и $C_{\text{Хс}} = 5.9$ ммоль/л после пяти процедур УФОК (пунктир)

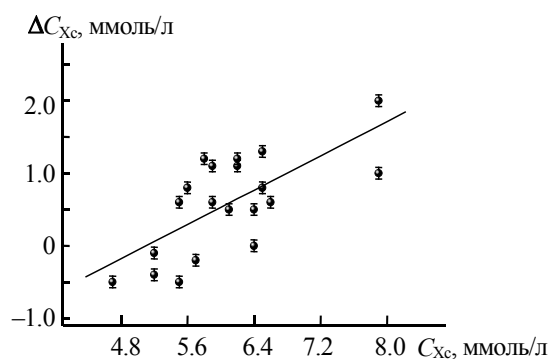


Рис. 4. Зависимость изменений концентрации холестерина $\Delta C_{\text{Хс}}$ под влиянием УФОК от исходной концентрации $C_{\text{Хс}}$ в крови пациентов

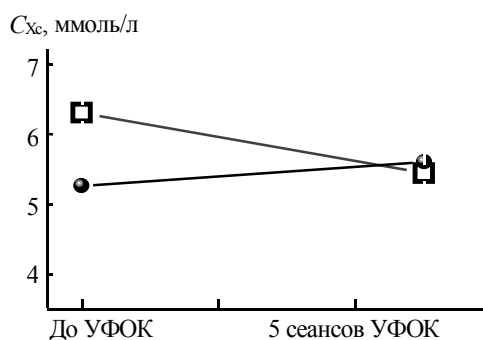


Рис. 5. Нормализующий эффект пяти процедур УФОК на среднее содержание холестерина $C_{Хс}$ в крови пациентов двух подгрупп, отличающихся направлением изменений $C_{Хс}$ под влиянием УФОК (□ — уменьшение, ● — увеличение)

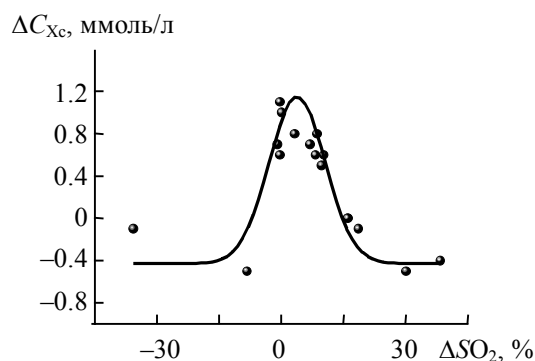


Рис. 6. Зависимость иницированных УФОК изменений концентрации холестерина $\Delta C_{Хс}$ от изменений степени насыщения гемоглобина кислородом ΔSO_2

Обсуждение результатов. Успешность применения УФОК в лечении гиперхолестеринемии с высоким содержанием Хс и ЛПНП-Хс непосредственно связана с пониманием молекулярных механизмов действия УФ излучения на холестерин и липопротеиновые комплексы, транспортирующие холестерин крови. Доза-зависимые эффекты противоположной направленности, так же, как индивидуальная восприимчивость пациентов, требуют детального изучения механизмов действия УФОК для исключения отрицательных результатов лечения. Известно [6, 7], что световое излучение способно оказывать влияние на постоянно протекающие в организме реакции перекисной дегградации липидов. Современные представления о процессах окисления липидов в значительной мере базируются на результатах изучения окислительной модификации полиненасыщенных жирных кислот в модельных системах, культурах клеток и животных при облучении *in vitro* высокими дозами УФ излучения ($D > 1$ Дж/см²) [4]. Однако систематические исследования влияния низких, терапевтических доз оптического излучения различных длин волн, в том числе УФ диапазона, на различные фракции холестерин, циркулирующих в крови живого организма, до настоящего времени не проводились. Механизмы гиполипидемического действия УФОК на холестерин крови пациентов остаются недостаточно изученными [2—4].

Фотоиндуцированные изменения компонентов плазмы, которая является чрезвычайно фоточувствительной системой, анализировались по спектрам поглощения в УФ—видимом, а затем в ИК (2—20 мкм) диапазонах. В диапазоне 200—1200 нм спектры поглощения плазмы содержат две интенсивные полосы в области 200—300 нм. Полоса 250—300 нм обусловлена поглощением ароматических аминокислот: триптофана, тирозина, фенилаланина и гистидина, а также свободных аминокислот плазмы крови. Отсутствие изменений ее интенсивности в большинстве образцов свидетельствует об отсутствии поврежденной нуклеиновых кислот терапевтическими дозами УФОК. В изменения относительной интенсивности I/I_0 ПП компонентов плазмы в области 200—250 нм, включающей в себя суммарное поглощение белков и липидов, могут вносить вклад изменения концентрации холестерин под влиянием УФОК, зафиксированные в образцах с высоким содержанием холестерин. Количественные оценки концентрации холестерин в образцах плазмы показали, что наибольшие иницированные УФОК изменения $\Delta C_{Хс}/C_{Хс}$ и $\Delta C_{ЛПНП-Хс}/C_{ЛПНП-Хс}$ достигали 20—25 %.

Для более детального анализа изменений биомолекул плазмы, иницированных УФОК, изучались ИК спектры образцов облученной и необлученной плазмы. В ИК области, где поглощают все органические компоненты крови и плазмы, спектры плазмы определяются поглощением полипептидов с большим количеством аминокислотных остатков. ИК ПП полипептидов, как известно, чувствительны к изменениям не только их концентрации и молекулярной структуры, но и конформации. В [7] показано, что количественный анализ по ИК спектрам позволяет определять концентрацию ЛПНП-Хс и ЛПВП-Хс в растворах этих соединений. В ИК спектре ЛПНП-Хс для этих целей использовались наиболее интенсивные ПП, относящиеся к валентным колебаниям CH_2 -групп ($\nu_{\max} = 2852—2854$ и 2926 см⁻¹) и $C=O$ -колебаниям липидного эфира ($\nu_{\max} = 1736$ см⁻¹). Для определения концентрации ЛПВП-Хс в растворах оценивалось суммарное поглощение валентных колебаний CH_2 -групп ($\nu_{\max} = 2852$ и 2926 см⁻¹), а также полос амид I и амид II. В ИК спектрах облученной плазмы максимально значимые отличия зарегистрированы в области $3000—2800$ см⁻¹, характерной для валентных колебаний CH_2 - и CH_3 -групп (рис. 2, б), которые содержатся как в липопротеинах, так и в других органических компонентах плазмы, но имеют более низкую интен-

сивность, чем в спектрах Хс и ЛПНП-Хс. ПП С=О-колебаний липидного эфира проявляются в спектрах плазмы в виде слабо различимых пиков и поэтому не пригодны для количественного анализа.

Изучение ИК спектров плазмы 25 пациентов показывает, что при одних и тех же стандартных условиях УФОК наблюдаемые в области 2800—3000 см⁻¹ спектральные изменения различаются для образцов плазмы разных пациентов. Сопоставление спектральных изменений с концентрациями двух наиболее важных фракций: Хс и ЛПНП-Хс, измеренными биохимическими методами, позволило выявить характерные спектральные проявления нарушений холестерина обмена. Во всех спектрах плазмы с низкими концентрациями холестерина ПП 2959 см⁻¹ (СН₃) и 2930 см⁻¹ (СН₂) образуют дублет с близкими по величине интенсивностями. В исходных образцах плазмы интенсивности низкочастотной ПП 2930 см⁻¹, относящейся к симметричным валентным колебаниям СН-связей СН₂-групп, увеличиваются при повышении концентрации холестерина и, наоборот, падают при снижении концентраций, в том числе под влиянием УФОК; интенсивности ПП рассматриваемого дублета выравниваются, что свидетельствует о снижении количества метиленовых групп по сравнению с метильными. Необходимо указать на связь наблюдаемых эффектов со снижением концентрации Хс и ЛПНП-Хс, так как комплексы ЛПНП-Хс отличаются высоким содержанием липидов по сравнению с белками (80:20) и, как следствие, высокой интенсивностью ПП валентных колебаний СН₂-групп. Приведенная интерпретация спектральных изменений позволяет по ИК спектрам плазмы в области 2800—3000 см⁻¹ определять патологические нарушения в холестеринном обмене пациентов. Количественная оценка влияния УФОК на концентрацию отдельных фракций холестерина по ИК спектрам требует дополнительных исследований, поскольку облучение вызывает одновременное снижение концентрации нескольких фракций холестерина, имеющих близкие ПП. Так, результаты корреляционного анализа показывают, что вызванные УФОК уменьшения концентраций $\Delta C_{Хс}/C_{Хс}$ и $\Delta C_{ЛПНП-Хс}/C_{ЛПНП-Хс}$ коррелируют с линейными коэффициентами корреляции Пирсона $r = 0.72$. ПП средней интенсивности с $\nu_{\max} = 1454$ и 1396 см⁻¹, также характерные для поглощения холестерина, не привлекались для анализа как сильно перекрывающиеся с соседними ПП спектра плазмы, что искажает их форму и интенсивность, усложняя количественный анализ.

ИК ПП валентных и деформационных колебаний NH, CN и С=О-связей полипептидных цепей чувствительны к изменениям пространственной структуры макромолекул белков плазмы. В ИК спектрах плазмы наличие конформационных изменений анализировалось по двум интенсивным ПП: амид I, которая определяется характеристическими колебаниями С=О-связей с различных участков молекулярной структуры ($\nu_{\max} = 1655$ см⁻¹), и амид II, относящейся преимущественно к NH-деформационным колебаниям пептидных групп протеинов (широкая ПП в области 1500—1580 см⁻¹ с $\nu_{\max} = 1546$ см⁻¹). Как показывает сопоставление спектров деконволюции, изменения структуры ПП в областях амид I и амид II отсутствуют или слабо выражены, что свидетельствует об отсутствии изменений во вторичной и третичной структуре макромолекул плазмы под влиянием УФОК (рис. 3). Конформационная устойчивость компонентов плазмы к терапевтическим дозам УФОК свидетельствует о сохранности физиологических свойств основных ее макромолекул, чувствительных к конформационным изменениям.

Изучение спектральными методами фотореакций, инициированных в крови УФОК, сыграло важную роль в понимании механизмов воздействия УФ излучения на компоненты крови [8—10]. Изменения спектральных характеристик исследуемых образцов облученной крови, инициируемые УФОК в области 350—1100 нм, свидетельствуют о фотодиссоциации оксигемоглобина. На основании анализа спектральных данных, дополненных оценками параметров оксигенации крови, в [8—10] показано, что фотодиссоциация комплексов гемоглобина с лигандами при УФОК является наиболее важной первичной реакцией, изменяющей сродство гемоглобина к кислороду, а следовательно, кислородтранспортные свойства крови. Корректируя дисбаланс кислородного обмена в организме, УФОК вызывает изменения внутриклеточного содержания активных форм кислорода (АФК), выступающих в роли физиологически активных соединений. АФК играют важную роль в поддержании равновесия между протекающими в организме процессами свободнорадикального окисления и антиоксидантной защиты, участвуя как в повреждении биомолекул, так и в процессах, противодействующих деструктивному развитию свободнорадикальных реакций в организме [11]. Предложенный механизм светового действия на кровь позволяет объяснить разнонаправленные результаты влияния УФОК на холестерин плазмы. Процесс свободнорадикального окисления липидов, непрерывно протекающий в организме, привлекает пристальное внимание, но остается недостаточно изученным.

Влияние кислородзависимых процессов отображают представленные на рис. 6 зависимости изменений концентраций $\Delta C_{Хс}$ и $\Delta C_{ЛПНП-Хс}$ от изменений степени насыщения гемоглобина кислородом ΔSO_2 при УФОК. Как видно, снижение концентрации Хс и ЛПНП-Хс имеет место лишь в сравнительно узком интервале значений ΔSO_2 , при которых стимулировалась перекисная дегградация липидов. Изменение баланса между наработкой АФК и их ингибированием антиоксидантными системами может приводить к разно-

направленным результатам светового воздействия. При изменении баланса между образованием АФК и их ингибированием антиоксидантными системами стадия активации свободнорадикального окисления может сменяться стадией активации антиоксидантной защиты организма. В обследуемой группе пациентов наблюдались сильные отличия как в исходной степени насыщения гемоглобина кислородом, так и в ее изменениях при УФОК. Поэтому одни и те же дозы УФОК могли стимулировать у одних пациентов перекисную деградацию липидов, снижающую содержание холестерина в крови, а у других антиоксидантные системы крови подавляли этот процесс.

Нормализующее влияние УФОК на липидный обмен проявилось в снижении концентрации холестерина крови при высоких исходных концентрациях и, наоборот, в небольшом их увеличении при низких начальных концентрациях. Зависимости концентрации отдельных фракций холестерина как от исходной концентрации, так и от изменений степени насыщения гемоглобина эритроцитов кислородом отражают влияние двух процессов: поступления холестерина в циркулирующую кровь и их удаление из крови при окислительной деградации, протекающей с участием АФК.

Заключение. Совместное изучение спектров поглощения крови и результатов биохимических анализов показало, что пятидневный курс ультрафиолетового облучения крови (УФОК) изменяет липидный состав крови у больных с острым коронарным синдромом, в среднем снижая концентрацию холестерина на 10.5 % и наиболее опасной фракции ЛПНП-Хс на 9 %. Нормализующее влияние УФОК на липидный обмен проявляется в снижении концентрации холестерина крови при высоких исходных концентрациях и, наоборот, в небольшом увеличении при низких начальных концентрациях. Зависимости концентрации отдельных фракций холестерина как от исходной концентрации, так и от изменения степени насыщения гемоглобина кислородом отражают влияние двух процессов: поступление холестерина в циркулирующую кровь и удаление их из крови при окислительной деградации, протекающей с участием активных форм кислорода.

На основании сопоставления ИК спектров плазмы с разным содержанием холестерина выявлена наиболее информативная область ИК спектра, изменение поглощения в которой позволяет судить о нарушениях холестеринового обмена. Показано, что максимально значимые отличия в ИК спектрах облученной и необлученной плазмы, отражающие изменения содержания холестерина, регистрируются в области $3000\text{—}2800\text{ см}^{-1}$, характерной для полос поглощения валентных колебаний CH_2 - и CH_3 -групп. По спектрам деконволюции конформационно-чувствительных полос, расположенных в областях амид I и амид II, установлена конформационная устойчивость вторичной и третичной структуры макромолекул плазмы к терапевтическим дозам УФОК.

Показано, что УФОК относится к терапевтическим методам, корректирующим дисбаланс кислородного обмена в организме. Сделан вывод, что изменение концентрации холестерина крови обусловлено влиянием УФОК на перекисную деградацию липидов, которая в организме в норме протекает с низкой скоростью из-за низкого уровня продукции активных форм кислорода и сбалансированной системы антиоксидантной защиты. Установлено, что сильные отличия кислородтранспортных свойств крови, выявленные у обследуемых пациентов, инициировали при УФОК отличающиеся по величине и даже разнонаправленные изменения концентрации холестерина. Изменение баланса между образованием активных форм кислорода и их ингибированием антиоксидантными системами вызывало активацию перекисного окисления липидов у одних пациентов и подавление его у других.

[1] **E.Knott.** *Am. J. Surgery*, **76**, N 2 (1948) 165—171

[2] **В.И.Карандашов, Е.Б.Петухов.** Ультрафиолетовое облучение крови, Москва, Медицина (1997)

[3] **И.Г.Дуткевич, Г.В.Головин, К.А.Самойлова, Ю.П.Попов.** В кн. "Механизмы влияния облученной УФ лучами крови на организм человека и животных", Ленинград, Наука (1986) 18—25

[4] **Д.И.Рощупкин, М.А.Мурина.** *Биофизика*, **38**, № 6 (1993) 1053—1068

[5] **Ю.А.Владимиров, А.И.Арчаков.** Перекисное окисление липидов в биологических мембранах, Москва, Наука (1972)

[6] **U.P.Steibrecher, S.Parthasarathy, D.S.Leake, J.L.Witzum, D.Steinberg.** *Proc. Nat. Acad. Sci.*, **81** (1984) 3383—3387

[7] **Kan-Zhi Liu, R.A.Shaw, A.Man, T.C.Dembinski, H.H.Mantsch.** *Clinic. Chem.*, **48** (2002) 499—506

[8] **Г.А.Залеская, В.С.Улащик.** *Журн. прикл. спектр.*, **76**, № 1 (2009) 51—75

[9] **Г.А.Залеская, В.С.Улащик, И.И.Калоша.** *Опт. и спектр.*, **107**, № 4 (2009) 695—702

[10] **Г.А.Залеская, Т.О.Маслова.** *Опт. и спектр.*, **109** (2011) 337—343

[11] **Н.К.Зенков, В.З.Ланкин, Е.Б.Меньщикова.** Окислительный стресс: биохимические и патофизиологические аспекты, Москва, Наука/Интерпериодика (2001)