

DOI: <https://doi.org/10.51922/2616-633X.2022.6.2.1637>

# УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ФОТОМОДИФИКАЦИЯ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ОСТРЫМ КРОНАРНЫМ СИНДРОМОМ БЕЗ ПОДЪЕМА СЕГМЕНТА ST (Часть 1). ФОТОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

О. В. Ласкина<sup>1</sup>, Г. А. Залеская<sup>2</sup>, Н. В. Мащар<sup>1</sup>

Белорусский государственный медицинский университет<sup>1</sup>

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси<sup>2</sup>

УДК 616.142-008.6:615.849.19:615.831

**Ключевые слова:** острый коронарный синдром без подъема сегмента ST, ультрафиолетовая модификация крови, кислородный обмен.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ.** В. Ласкина, Г. А. Залеская, Н. В. Мащар. Ультрафиолетовая фотомодификация крови у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST (Часть 1). Фотохимические реакции. *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*, 2022, Т. 6, № 2, С. 1637–1643.

**Цель.** Определение фотохимических реакций, происходящих в крови пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST (ОКСбпST), с последующим изучением механизмов преобразования ультрафиолетовой модификации крови (УФМК) в биологические реакции.

**Методы.** Изучено 90 образцов крови пациентов с ОКСбпST, в комплексное лечение которых включалась УФМК с забором крови из локтевой вены и воздействием излучения ртутной лампы (аппарат «Надежда»), курс лечения составил 5 процедур, проводимых ежедневно. Сопоставлялись спектры поглощения крови и эритроцитов, результаты оптической оксиметрии, спектрофотометрии, данные общего анализа крови до УФМК, непосредственно во время отдельных процедур и через 30 минут после окончания курса.

**Результаты.** Изучено действие УФМК на пациентов с ОКСбпST. На основании результатов спектральных и клинических исследований крови обнаружены закономерности ее фотомодификации при воздействии ультрафиолетово-

го (УФ) излучения. Оценены спектры поглощения крови, оксигенация крови у пациентов, которым наряду с традиционной медикаментозной терапией в комплексное лечение включалось проведение пяти курсов УФМК. Отмечено, что УФ излучение приводит к фотомодификации крови, изменению парциального давления газов крови, изменению уровня оксигемоглобина и степени насыщения гемоглобина кислородом. УФМК является одним из эффективных методов немедикаментозного лечения пациентов с ОКСбпST.

**Заключение.** УФМК, оказывая влияние на кислородный обмен в организме пациентов с ОКСбпST, повышает кислородную емкость крови, уменьшает потребность кислорода тканями. Фотоиндуцированные изменения степени насыщения гемоглобина кислородом определяются индивидуальной чувствительностью пациентов к УФ излучению и могут контролироваться насыщением венозной крови кислородом, как наилучшего способа индивидуализации терапии.

# ULTRAVIOLET BLOOD PHOTOMODIFICATION IN PATIENTS WITH NON-ST ELEVATION ACUTE CORONARY SYNDROME (Part 1). PHOTOCHEMICAL REACTIONS

O.V. Laskina<sup>1</sup>, G.A. Zaleskaya<sup>2</sup>, N.V. Mashchar<sup>1</sup>

Belarusian State Medical University<sup>1</sup>

Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus<sup>2</sup>

**Key words:** non-ST elevation acute coronary syndrome, ultraviolet blood modification, oxygen exchange.

**FOR REFERENCES.** O.V. Laskina, G.A. Zaleskaya, N.V. Mashchar. Ultraviolet blood photomodification in patients with non-ST elevation acute coronary syndrome (Part 1). Photochemical reactions. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2022, vol. 6, no. 2, pp. 1637–1643.

**Objective.** To specify photochemical reactions, occurring in the blood of patients with non-ST elevation acute coronary syndrome (NSTEMI-ACS), followed by the study of the mechanisms of alterations of ultraviolet blood modification (UVBM) into biological reactions.

**Methods.** We studied 90 blood samples from patients with NSTEMI-ACS, receiving complex treatment that included UVBM by mercury lamp radiation with blood taken from the ulnar vein (device "Nadezhda"), the course of treatment consisted of 5 procedures conducted daily. We compared absorption spectra of blood and erythrocytes, results of optical oximetry, spectrophotometry, data of general blood analysis before UVBM, during individual procedures and 20–30 minutes after the end of the course.

**Results.** We have studied the effect of UVBM on patients with NSTEMI-ACS. Based on the results of spectral and clinical studies of blood, patterns of its

photomodification under the influence of ultraviolet (UV) radiation were found. The spectra of blood absorption and blood oxygenation were evaluated in patients whose complex treatment included five courses of UVBM along with traditional drug therapy. It is noted that UV radiation leads to photomodification of blood, changes in the partial pressure of blood gases, changes in the level of oxyhemoglobin and the degree of hemoglobin oxygen saturation. UVBM is proven as an effective method of non-drug treatment of patients with NSTEMI-ACS.

**Conclusion.** UVBM, influencing the oxygen metabolism in patients with NSTEMI-ACS, increases the oxygen capacity of the blood, reduces the oxygen demand by the tissues. Photoinduced changes in the degree of hemoglobin oxygen saturation are determined by the individual sensitivity of patients to UV radiation and can be controlled by venous blood oxygenation as the best way to individualize therapy.

## Актуальность

В связи с ростом заболеваний сердечно-сосудистой системы и высокими показателями смертности от острой коронарной патологии актуальной задачей стало внедрение различных методов лечения пациентов с данной патологией. Использование метода экстракорпоральной ультрафиолетовой модификации крови (УФМК) и дальнейшее ее введение в организм пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ) является перспективным, что позволяет использовать данный метод в кардиологической практике.

Один из ведущих и впервые использованный метод фототерапии, который был применен для лечения пациентов с инфекционными заболеваниями – ультрафиолетовая модификация крови (воздействие ультрафиолетом с использованием ртутной лампы) [1, 2]. Методика применения ультрафиолетового излучения (УФ) со временем претерпевала изменения и на настоящий момент получила широкое развитие для лечения сердечно-сосудистой патологии [3, 4].

Неоднократно проводилось попытки сопоставить, стандартизировать и определить механизмы воздействия УФ излучения на кровь пациентов. УФМК широко применялось для терапии пациентов с бронхиальной астмой и ревматоидным артритом [5]. На настоящий момент нет единого, общепризнанного механизма действия УФМК [6], а также научно-обоснованных критериев, используемых в качестве оценки успешности применения данного метода. Все также продолжается изучение и использование в терапевтической практике УФ излучения с длиной волны от 254 до 380 нм и светодиодов с длиной волны 365 нм, применяемых как для внутривенной УФМК, так и для поверхностного воздействия на кожные покровы пациента.

Исходя из литературных данных предположено, что фотодеструкция приводит к изменению примембранного внешнего слоя клеток крови во время воздействия УФМК, происходит изменение функционального состояния и свойств крови, выделение в организм биологически активных агентов.

При воздействии УФМК отмечена активация некоторых мононуклеарных клеток, включая гранулоциты и тромбоциты, протекают выраженные изменения в реологии крови и в защитных свойствах крови, отмечается снижение вязкости крови и положительные сдвиги в микроциркуляции [7, 8, 9].

Одним из показаний к применению УФМК являются нарушения микроциркуляции, что часто встречается у пациентов с острыми состояниями, коморбидными состояниями, хроническими воспалительными процессами. Так же метод себя зарекомендовал для использования у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST (ОКСбпST) [10–13].

Изучение УФМК при ОКСбпST является актуальным в кардиологической практике как одного из методов воздействия некогерентных источников низоинтенсивного оптического излучения (НОИ) на кровь. Использование метода послужит дальнейшему созданию и развитию приборов оптического излучения для применения в клинической практике.

**Цель исследования.** Определение фотохимических реакций, происходящих в крови пациентов с ОКСбпST, с последующим изучением механизмов преобразования УФМК в биологические реакции.

## Методы

Обследовано 50 пациентов с ОКСбпST (32 пациента с нестабильной стенокардией, 18 пациентов с острым субэндокардиальным инфарктом миокарда), которые были разделены на основную группу, составившую 30 пациентов и группу сравнения № 1 из 20 пациентов. Так же обследована группа сравнения № 2, которая включала в себя 10 доноров. Выполнено 90 заборов крови у пациентов основной группы, одним из компонентов лечения которых являлось УФМК. Для проведения УФМК использовался аппарат «Надежда» с длиной волны 254 нм, использованной дозой излучения ртутной лампы 0.07 Дж/см<sup>2</sup>, при мощности 1.5 мВт/см<sup>2</sup>. Курс лечения пациентов начинался через двое суток после поступления в стационар

и составил пять процедур, проводимых ежедневно. Выполнено 60 заборов крови в группе сравнения № 1 и 10 заборов крови доноров. Исследовались спектры поглощения крови и эритроцитов, данные оптической оксиметрии, данные спектрофотометрии, а также общий анализ крови. Заборы крови в основной группе осуществлялись до применения УФМК, во время всех процедур УФМК и через 30 минут после проведения пятой процедуры. В группе сравнения №1 заборы крови осуществлялись на вторые, третьи и восьмые сутки после поступления пациентов в стационар. Диапазоны поглощения крови в области от 200 до 1200 нм исследованы на спектрометре Cary 500. При помощи спектрометра Фурье исследованы области поглощения крови от 2 до 20 мкм. Эритроциты и жидкая кровь являлись образцами исследования. Для спектрометра Фурье были приготовлены пленки толщиной в несколько микрон, использованы подложки из кристаллов. Спектрофотометрия проведена на приборе AVL-800, при помощи которого определялась степень насыщения венозной крови кислородом ( $SvO_2$ ) и содержание оксигемоглобина ( $Fv_{(HbO_2)}$ ). При помощи пульсоксиметрии была оценена степень насыщения артериальной крови кислородом ( $SaO_2$ ). Парциальное давление кислорода ( $p_vO_2$ ) и углекислого газа ( $p_vCO_2$ ) в венозной крови регистрировались при помощи газоанализатора. Статистическая обработка проводилась методом вариационной статистики (по t-критерию Стьюдента), корреляционного критерия Пирсона, программ Excel и Statistica 10.

## Результаты

В изученной литературе описываются положительные клинические эффекты после применения метода УФМК для пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), такие как исчезновение вазоспастической стенокардии, уменьшение количества приступов стенокардии, возникающей при физической нагрузке, повышение толерантности к физическим нагрузкам, уменьшения доз лекарственных средств. Улучшались реологические свойства крови, микроциркуляция, снижалась агрегация эритроцитов [3, 4].

Различные гипотезы воздействия УФ излучения обсуждаются и сейчас [4]. На основании одного механизма нельзя объяснить лечебное действие УФМК. Связь между поступлением в кровеносное русло биологически активных веществ и изменениями поверхности клеток крови использовалась как гипотеза механизма лечебного действия, однако ряд результатов не подтверждены имеющейся гипотезой. Изменения гемоглобина, альбумина, иммуноглобулина (структуры белков крови), активно влияют на их функцию, что приводит к изменениям на макроуровне [3, 4].

Изучение механизма лечебного действия УФМК актуально и в настоящее время. Отмечено, что при воздействии УФ излучения образуются продукты фотодиссоциации и происходит денатурация белков крови, приводящая к изменению их биологической активности, особенно при применении УФ излучения в дозах, превышающих терапевтические [7]. Ранее механизм действия УФ излучения объяснялся вторичными фотохимическими реакциями и не была ясна роль первичных биохимических процессов. К числу наиболее изученных первичных реакций относится перекисное окисление липидов (ПОЛ) [14, 15, 16].

Выраженный эффект от дозы УФ излучения был зарегистрирован для концентрации малонового альдегида [17]; тем самым определено положительное влияние малых доз УФ излучения и ингибирующее действие высоких доз излучения. Малоизученным остается вопрос о совместимости лекарственной терапии, проводимой у пациентов с ССЗ, при использовании УФМК. Также интересуют вопросы о природе эффектов, инициируемых в организме под воздействием УФМК.

При проведении спектральных измерений, зарегистрированных ранее [18–21], показано, что УФМК изменяет спектры поглощения крови и эритроцитов, особенно в диапазоне спектров, которые восприимчивы к оксигенации крови (полоса Core и дублет полос от 540 до 570 нм (рисунок 1) и от 650 до 950 нм). Проанализированные изменения спектров вызывались изменениями содержания оксигемоглобина и дезоксигемоглобина при фотодиссоциации комплексов гемоглобина (Hb) с лигандами, обратимые в присутствии кислорода ( $O_2$ ). При проведении УФМК увеличивалось содержание оксигемоглобина. После окончания процедур увеличивался дезоксигемоглобин, что свидетельствует о том: гемоглобин – первичный фотоакцептор УФ излучения. Длины волны в диапазоне от 280 до 600 нм не влияют на фотодиссоциацию гемоглобина. Нами использовалось УФ излучение без светофильтра.

При сравнении УФМК электронных и инфракрасных (ИК) спектров поглощения крови и эритроцитов наблюдались конформационные перестройки в молекулах Hb. ИК спектроскопия позволяет контролировать структурные превращения белков. На полосе амид I ( $\nu_{\max} = 1654 \text{ см}^{-1}$ ) зарегистрировано воздействие ультрафиолетовой модификации крови на ИК спектры. Амид I является интенсивной полосой, которая принадлежит валентным колебаниям C=O связей (рисунок 2).

Анализ полосы амид I применяется для изучения вторичной структуры макромолекул белков и имеет большую ширину в спектрах крови для исследуемых пациентов (от 60 до  $85 \text{ см}^{-1}$ ). После завершения курса терапии

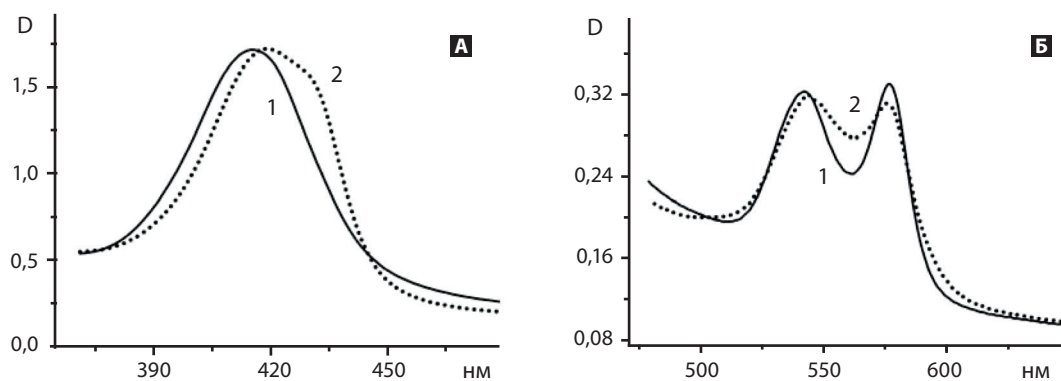


Рисунок 1. Спектры поглощения эритроцитов 1 – до, и 2 – после ультрафиолетовой модификации крови на полосе Соре (а) и дублете полос в 541 и 577 нм (б)  
 Figure 1. Red blood cell absorption spectra 1 – before, and 2 – after ultraviolet blood modification on the Soret band (a) and the doublet of the bands of 541 and 577 nm (b)

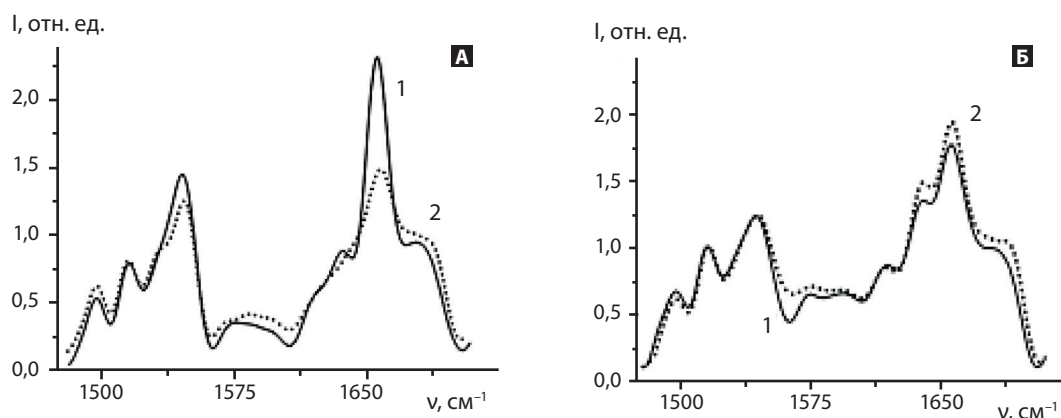


Рисунок 2. Диапазоны поглощения крови 2 пациентов: а – при увеличении количества дезоксигемоглобина, б – при увеличении количества оксигемоглобина: 1 до и 2 – после ультрафиолетовой модификации крови (Амид I и II)  
 Figure 2. Blood absorption ranges of 2 patients: a) with an increase in the amount of deoxyhemoglobin, b) with an increase in the amount of oxyhemoglobin: 1 before and 2 after ultraviolet blood modification (Amide I and II)

нами было выявлено уменьшение интенсивности центральной компоненты и увеличение интенсивности боковых компонент. Фотоиндуцированная перестройка ИК спектров явилась результатом трансформации вторичной структуры молекул Hb при его отделении от молекулы кислорода. По полосе амид II ( $1540\text{ см}^{-1}$ ) выявлено воздействие на третичную структуру глобулярных белков. Можно отметить, что УФМК изменяет пространственную структуру белков крови.

Изменения спектров поглощения крови и эритроцитов связаны с изменениями  $S_VO_2$ . Отмечаются изменения спектральных характеристик крови при воздействии УФ излучения во время самой процедуры и после ее окончания, которая носит разнонаправленный характер. В изученной литературе большие дозы излучения приводят к появлению новых полос в спектрах поглощения крови, что относится к метгемоглобину [6].

Фотопревращения гемоглобина происходят в эритроцитах крови (в мембранах

и во внутриэритроцитарной среде), что инициирует ускорение диффузии газов и ускорение транспортировки  $O_2$  [3, 4, 22]. Также зарегистрировано положительное влияние на деформируемость эритроцитов и улучшение реологических свойства крови. По литературным данным большая доза УФ излучения приводит к патологическим изменениям формы эритроцитов и их гемолизу [3]. Во время исследования у наших пациентов среднее количество эритроцитов значительно не варьировало:  $4.78 \pm 0.48 \cdot 10^{12}$  клеток/л до УФМК и  $4.75 \pm 0.46 \cdot 10^{12}$  клеток/л после курса УФМК; не изменялось содержание гемоглобина  $144,0 \pm 14,3$  г/л до и  $143,5 \pm 21,5$  г/л после курса УФМК; и не выявлено повышение содержания метгемоглобина (оставался ниже предельного значения 1.5%).

В проводимых ранее исследованиях получены данные о том, что размеры и формы эритроцитов коррелируют с процессами оксигенации и деоксигенации Hb [3, 4, 22, 23]. При деоксигенации происходит выход  $O_2$

из клетки и вхождение  $\text{CO}_2$ , что приводит к увеличению содержания  $\text{H}_2\text{O}$  внутри клетки, приводящее к увеличению объема эритроцитов, что снижает его агрегационную способность. У пациентов с ОКСбпST отмечается снижение степени насыщения Hb кислородом, а также набухание эритроцитов и снижение их деформируемости. При окончании курса УФМК нормализовался средний объем эритроцитов и увеличивалась электрофоретическая подвижность эритроцитов (ЭФПЭ), которая первоначально была значительно снижена у пациентов с ОКСбпST (рисунок 3), включенных в наше исследование.

По нашим данным отмечено статистически достоверное увеличение поверхностного заряда эритроцитов, что предположительно является следствием изменения внутриэритроцитарной среды, а конкретно концентрации лигандов Hb (2,3-дифосфолицират, аденозинтрифосфат), содержание которых изменяется при УФМК. Лиганд 2,3-дифосфолицират оказывает специфическое влияние на структуру Hb [24]. Следует отметить, что описанные изменения выявлялись только в группе пациентов с применением УФМК, в группе сравнения № 1 и 2 достоверных изменений выявлено не было.

На основании ранее опубликованных исследований невозможно было предположить результаты воздействия УФМК для отдельных пациентов [3–5, 25, 26]. Нами в предыдущих публикациях показано, что фотодиссоциация комплексов Hb с лигандами под влиянием УФМК ответственна за фотоиндуцированные изменения характеристик оксигенации крови, в том числе степени насыщения Hb венозной крови кислородом ( $S_{\text{V}}\text{O}_2$ ) и концентрации оксигемоглобина венозной крови ( $F_{\text{V}}\text{HbO}_2$ ), а также парциального давления кислорода в венозной крови ( $p_{\text{V}}\text{O}_2$ ), что подтверждает предположение высказанные ранее на основании спектральных данных [18–21, 27, 28].

Низкие дозы УФ излучения приводят к положительным и к отрицательным изменениям характеристик оксигенации крови, которые отличаются при стадиях воздействия УФ излучения [29]. На протяжении всего курса УФМК нами наблюдались осцилляции характеристик оксигенации крови. Был отмечен рост оксигенации во время процедур и снижение в конце процедур. Интервалы исходных значений ( $p_{\text{V}}\text{O}_2$  и  $S_{\text{V}}\text{O}_2$ ) пациентов с ОКСбпST составили:  $15 < p_{\text{V}}\text{O}_2 < 30$  Торр,  $15 < S_{\text{V}}\text{O}_2 < 35\%$ . Отмечено увеличение  $p_{\text{V}}\text{O}_2$  до 40 мм рт. ст.,  $S_{\text{V}}\text{O}_2$  до 80% в момент проведения процедур (норма для венозной крови ( $p_{\text{V}}\text{O}_2 \approx 40$  мм рт.ст. и  $S_{\text{V}}\text{O}_2 \approx 65-70\%$ )).

При анализе изменений (рисунок 4) значения  $S_{\text{V}}\text{O}_2$  в момент процедур повышались до типичных для артериальной крови. Нами сделан вывод о необходимости сопоставления полученных данных по отношению

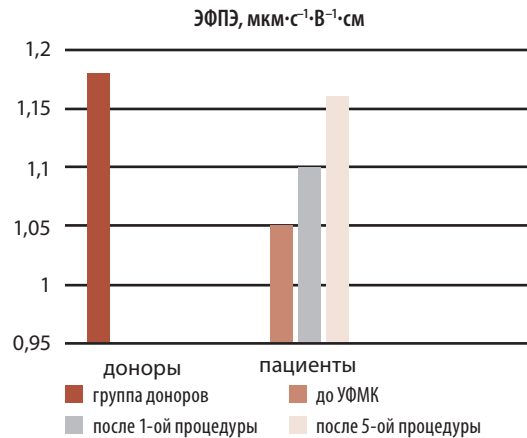


Рисунок 3. Электрофоретическая подвижность эритроцитов (ЭФПЭ) у пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST (ОКСбпST) до и после проведения ультрафиолетовой модификации крови (УФМК)

Figure 3. Red blood cell electrophoretic mobility (RBC EM) in patients with non-ST elevation acute coronary syndrome (NSTE-ACS) before and after ultraviolet blood modification (UVBM)

к началу процедуры для стандартизации получаемых результатов. Противоречивость результатов, полученных при измерении осцилляции по литературным данным, может быть связана с несоблюдением этого условия и отсутствием стандартизации по времени измерения [5].

Снижение кровотока у пациентов с ОКСбпST приводило к приспособительному увеличению экстракции кислорода из эритроцита. Кислород, который поглощался тканями из капиллярного русла был пересчитан с учетом коэффициента утилизации ( $K_{\text{утил}}$ ):

$$K_{\text{утил}} = \frac{([\text{Hb}] \times 1,39 \times (S_{\text{A}}\text{O}_2/100) - [\text{Hb}] \times 1,39 \times (S_{\text{V}}\text{O}_2/100))}{[\text{Hb}] \times 1,39 \times (S_{\text{A}}\text{O}_2/100)}$$

где  $[\text{Hb}] \times 1,39 \times (S_{\text{A}}\text{O}_2/100) - [\text{Hb}] \times 1,39 \times (S_{\text{V}}\text{O}_2/100)$  – концентрация извлекаемого кислорода для артериальной и венозной крови.

Для ряда пациентов курс УФМК вызвал отличавшиеся по величине изменения  $K_{\text{утил}}$  (рисунок 5б). При применении оптимальных доз для исследуемых пациентов отмечен рост  $S_{\text{V}}\text{O}_2$ . Курс УФМК сокращал потребление кислорода, дефицит которого характерен для пациентов с ОКСбпST, а также приводил к увеличению содержания  $\text{O}_2$  в венозной крови. Происходила нормализация утилизации кислорода тканями. Коэффициенты утилизации, изученные у пациентов, снижались до  $22\% < K_{\text{утил}} < 32\%$ , нивелировав разницу потребности тканей в кислороде и его доставкой. После проведения пяти курсов УФМК в нашем исследовании у 25%

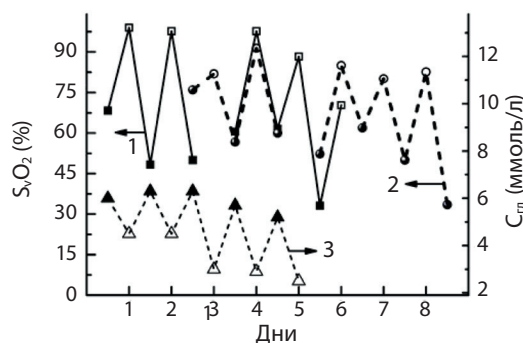


Рисунок 4. Степени насыщения гемоглобина кислородом в венозной крови для пациента №1 и пациента №2 (■ и ● – до, □ и ○ – во время процедуры) и концентрации глюкозы (3) (▲ – до, Δ – во время процедуры), вызываемые ультрафиолетовой модификацией крови

Figure 4. Degrees of hemoglobin oxygenation in venous blood of patient No. 1 and patient No. 2 (■ and ● – before, □ and ○ – during the procedure) and glucose concentrations (3) (▲ – before, Δ – during the procedure) caused by ultraviolet blood modification

Рисунок 5. Графики зависимостей коэффициента утилизации кислорода ( $K_{утил}$ ) от значений степени насыщения венозной крови кислородом ( $S_vO_2$ ) — а и от фотоиндуцированных изменений  $\Delta S_vO_2$  — б

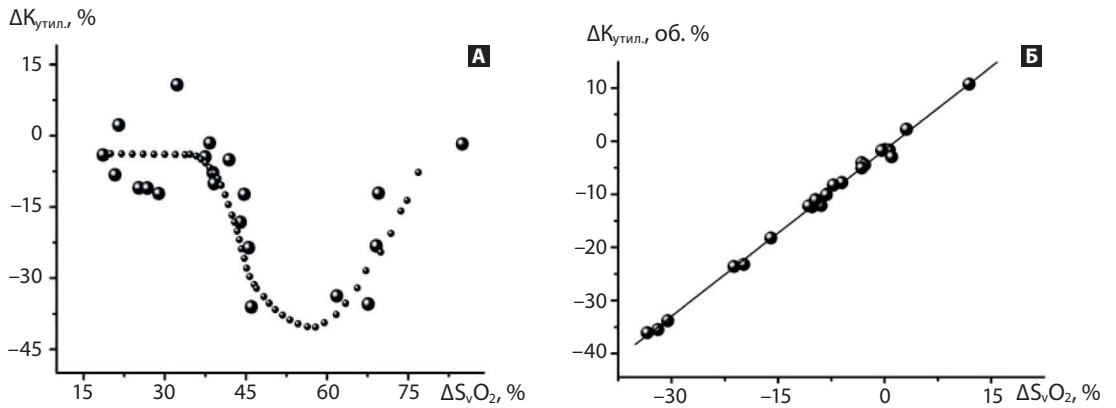


Рисунок 6. Изменение степени насыщения гемоглобина кислородом после проведения курса ультрафиолетовой модификации крови (УФМК) (■ — для подгруппы с исходным содержанием больше медианы, □ — меньше медианы)

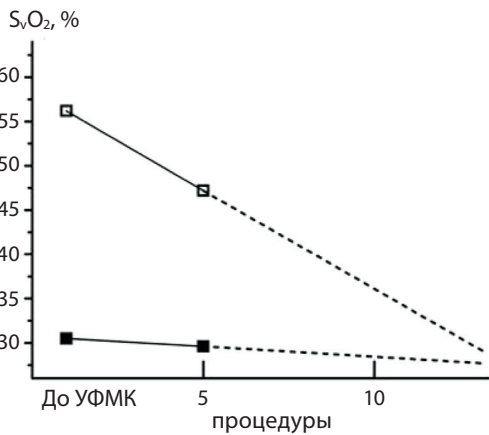


Figure 6. Change in the degree of hemoglobin oxygenation after a course of ultraviolet blood modification (UVBM) (■ — for the subgroup with a baseline greater than the median, □ — less than the median)

пациентов установлено улучшение параметров оксигенации.

Анализ индивидуальных результатов позволил сделать вывод, что УФМК индивидуально действует на оксигенацию крови. Нами выявлено регуляторное влияние курсов УФМК, проведенных у пациентов с ОКСбпСТ. Отмечалось нормализующее влияние УФМК для реологических свойств крови и микроциркуляции [3–5].

Влияние УФМК на параметры оксигенации в конце курса было изучено по двум подгруппам, разделенным нами по исходному значению параметров оксигенации (использован метод медианы). Отмечено снижение  $S_vO_2$  и  $p_vO_2$  в подгруппе с высоким исходным значением оксигенации (рисунок 6). Средние показатели степени насыщения гемоглобина кислородом двух подгрупп сближались к концу пятого курса УФМК, что подчеркивает регуляторное влияние метода.

Изменения  $\Delta S_vO_2$ ,  $\Delta p_vO_2$  после окончания курсов были индивидуальными и отличались для отдельных пациентов по данным предыдущих работ [29]. При проведении УФМК изменения  $\Delta p_vO_2$  сильно отличались ( $12\% < \Delta p_vO_2 / p_vO_2 < 22$ ). Показатели  $p_vO_2$  коррелировались с первоначальной степенью насыщения венозной крови кислородом  $S_vO_2$  и изменениями  $\Delta S_vO_2$  под влиянием УФМК (значения  $\Delta p_vO_2$  увеличивались, а  $\Delta p_vCO_2$  уменьшались с ростом  $\Delta S_vO_2$  (рисунок 7)).

Пример кислородного статуса венозной крови двух пациентов с ОКСбпСТ под влиянием УФМК представлены в таблице 1.

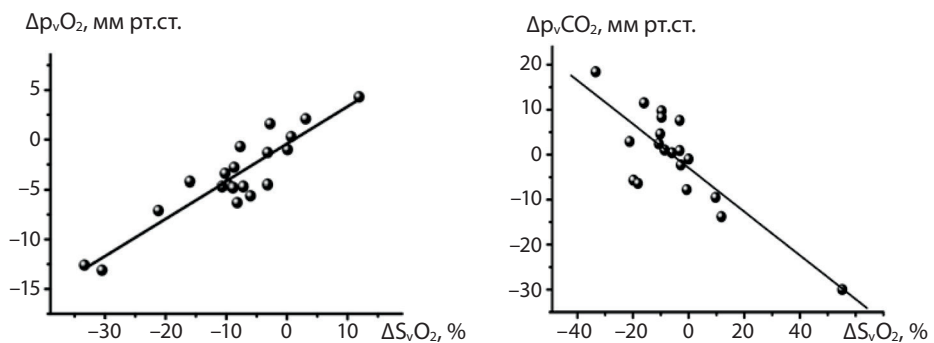


Рисунок 7. Зависимости изменений парциальных давлений кислорода  $\Delta p_vO_2$  в венозной крови и парциальных давлений углекислого газа  $\Delta p_vCO_2$  от изменений степени насыщения венозной крови кислородом  $\Delta S_vO_2$  под влиянием ультрафиолетовой модификации крови для пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST ( $r = 0.81$ ,  $p < 0.001$  для зависимости парциального давления кислорода  $\Delta p_vO_2$  от  $\Delta S_vO_2$  и  $r = -0.8$ ,  $p < 0.004$  для зависимости  $\Delta p_vCO_2$  от  $\Delta S_vO_2$ )

Figure 7. Dependence of changes in partial oxygen pressure  $\Delta p_vO_2$  in venous blood and partial carbon dioxide pressure  $\Delta p_vCO_2$  on changes in the degree of venous blood oxygen saturation  $\Delta S_vO_2$  under the influence of ultraviolet blood modification for patients with non-ST elevation acute coronary syndrome ( $r = 0.81$ ,  $p < 0.001$  for dependence of partial oxygen pressure  $\Delta p_vO_2$  on  $\Delta S_vO_2$  and  $r = -0.8$ ,  $p < 0.004$  for dependence of  $\Delta p_vCO_2$  on  $\Delta S_vO_2$ )

## Заклучение

УФМК оказывая влияние на кислородный обмен в организме пациентов с ОКСбпСТ, повышает кислородную емкость крови, уменьшает потребность кислорода тканями. При проведении процедур наблюдались положительные изменения характеристик оксигенации, которые были наиболее выражены в момент проведения самой процедуры. УФМК обладало регуляторным воздействием на кислородзависимые процессы в организме. В конце курсов УФМК терапевтические дозы излучения приводили у разных пациентов к отличающимся по величине изменениям степени насыщения венозной крови кислородом, парциального давления кислорода, концентрациям извлекаемого кислорода, которые завесили от фотоиндуцированных изменений от средних значений  $\Delta S_{vO_2}$  и исходной величины  $S_{vO_2}$ .

Фотоиндуцированные изменения степени насыщения гемоглобина кислородом определяются индивидуальной чувствитель-

## REFERENCES

- Knott E.K., Hancock V.K. Irradiated blood transfusion in treatment of infections. *Northwest Med*, 1934, vol. 33, pp. 200–204.
- Knott E.K. Development of ultraviolet blood irradiation. *Am J Surgery*, 1948, vol. 76(2), pp. 165–171.
- Karandashov V.I., Petukhov E.B. *Ultrafioletovoje obluchenie krvi* [UV blood irradiation]. Moscow: Medicina, 1997. (in Russian).
- Ganelina I.E., Samojlova K.A. eds. *Mechanismy vliyanija obluchenija ultrafioletovymi luchami krovi na organizm cheloveka* [Mechanism of the influence of blood irradiated with UV rays on organisms of humans and animals] Collection of scientific papers. Leningrad: Nauka, 1986. (in Russian).
- Rowen R.J. Ultraviolet blood irradiation therapy (photo-oxidation). The cure that time forgot. *Int J Biosoc Med Res*, 1996, vol. 14(2), pp. 115–130.
- Moor F.B., Hoyt R.E., Levine M.G. An evaluation of hemoirradiative therapy. *Arch Physiol Med*, 1948, vol. 29, pp. 358–365.
- Timofeev K.V., Rylkov V.V., Shurygin A.L., Kholmogorov V.E. Spectral studies of photochemical reaction in blood. *Dokl AN SSSR*, 1980, vol. 255(3), pp.751–755.
- Hamblin M.R. Ultraviolet Irradiation of Blood: "The Cure That Time Forgot"? *Adv Exp Med Biol*, 2017, vol. 996, pp. 295–309. doi: 10.1007/978-3-319-56017-5\_25.
- Wu X., Hu X., Hamblin M.R. Ultraviolet blood irradiation: Is it time to remember "the cure that time forgot"? *J Photochem Photobiol B*, 2016, vol. 157, pp. 89–96. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.02.007.
- 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.
- Zalesckaya G.A., Laskina O.V. Reguljatornoe vliyanie nizkointensivnogo opticheskogo izlucheniya na oksigenaziju obluchaemoy krovi i metabolicheskie processy [Regulatory Effect of Low-Intensity Optical Radiation on Oxygenation of Blood Irradiated In Vivo and Metabolic Processes]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii*, 2016, vol. 83, no. 1, pp. 81–88. (in Russian).
- Mitkovskaya N.P., Laskina O.V., Tifi P. Nestabilnaya stenokardiya ili nestabilnye koronarnye sindromy? [Unstable angina pectoris or unstable coronary syndromes?] *Neotlazhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 944–977. (in Russian).
- Laskina O.V., Zalesckaya G.A., Mitkovskaya N.P. Primenenie fotomodifikacii krovi nizkointensivnym opticheskim izlucheniem v kompleksnom lechenii pacientov s nestabil'noj stenokardiej [Application of photomodification of blood using low-intensity optical radiation in the combination treatment of patients with unstable angina]. *Neotlazhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski*, 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1145–1150. (in Russian).
- Rostchupkin D.I., Murina M.A. The photobiological processes in biomembranes during the action of ultraviolet radiation. *Biophys*, 1993, vol. 38(6), pp.1053–1068.
- Petukhov E.B., Korneev A.A., Malutin I.G., Koshkin V.M. Snizhenie aktivnosti perekisnogo oksiseniya lipidov i trombotsitarnoy agregatsii u bo'nykh s khronicheskoy arterialnoy nedostatocnostyu konechnostey pri lechenii metodom infuzii UF-obluchennykh krovi [Decreased activity of lipid peroxidation and platelet aggregation in patients with chronic arterial insufficiency of limbs in the treatment method of infusion of UV-irradiated blood]. *Vestn Chirurгии*, 1989, no. 5, pp. 36–39. (in Russian).

Паци- енты	pH	Hb, г/л	p <sub>v</sub> O <sub>2</sub> , мм рт.ст.	p <sub>v</sub> CO <sub>2</sub> , мм рт.ст.	S <sub>v</sub> O <sub>2</sub> , %	HbO <sub>2</sub> , %	MetHb, %	ctO <sub>2</sub> , мм/л
1	7,20	149,2	20,5	54,6	37,6	36,7	0,8	7,43
1	7,35	141,8	22,1	52,8	34,8	34,3	0,5	6,56
2	7,28	141,3	20,5	54,8	32,3	32,2	0,8	6,11
2	7,34	139,9	25,2	40,6	44,8	44,1	0,7	8,24

Примечание: pH – кислотность крови, Hb – гемоглобин, p<sub>v</sub>O<sub>2</sub> – парциальное давление кислорода, p<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> – парциальное давление углекислого газа, S<sub>v</sub>O<sub>2</sub> – степень насыщения венозной крови кислородом, HbO<sub>2</sub> – оксигемоглобин, MetHb – метгемоглобин, ctO<sub>2</sub> – концентрация кислорода.

Pa- tient	pH	Hb, g/L	p <sub>v</sub> O <sub>2</sub> , mm Hg	p <sub>v</sub> CO <sub>2</sub> , mm Hg	S <sub>v</sub> O <sub>2</sub> , %	HbO <sub>2</sub> , %	MetHb, %	ctO <sub>2</sub> / mmol/L
1	7.20	149.2	20.5	54.6	37.6	36.7	0.8	7.43
1	7.35	141.8	22.1	52.8	34.8	34.3	0.5	6.56
2	7.28	141.3	20.5	54.8	32.3	32.2	0.8	6.11
2	7.34	139.9	25.2	40.6	44.8	44.1	0.7	8.24

Note: pH – blood acidity, Hb – hemoglobin, p<sub>v</sub>O<sub>2</sub> – partial pressure of oxygen, p<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> – partial pressure of carbon dioxide, S<sub>v</sub>O<sub>2</sub> – degree of saturation of venous blood with oxygen, HbO<sub>2</sub> – oxyhemoglobin, MetHb – methemoglobin, ctO<sub>2</sub> – oxygen concentration.

ностью пациентов к УФ излучению и могут контролироваться насыщением венозной крови кислородом, как наилучшего способа индивидуализации терапии.

- Paranich A.V., Sheikman V.I., Godoj E.Ch. Sostoyanie perekisnogo oksiseniya lipidov posle ultrafioletovogo oblucheniya krovi i zaschitnoe dejstvie tokoferola acetata [Status of lipid peroxidation after ultraviolet irradiation of blood, and the protective effect of tocopherol acetate]. *Vracheb delo*, 1992, no. 5, pp. 57–61. (in Russian).
- Vichriev B.S., Markelov I.M., Matveenko A.V., Tupikova S.A., Osipovich V.K., Krajnik I.V. Immunomodulirujuschee i antioksidantnoe dejstvie autotransfuzii UV obluchennoy krovi pri termicheskikh ozogach [Immunomodulatory and antioxidant effects of autotransfusion of UV irradiated blood during thermal burns]. *Collection of scientific papers*. edss Ganelina I.E., Samojlova K.A. Leningrad: Nauka, 1986, pp. 39–49. (in Russian).
- Zalesckaya G.A., Ulaschik V.S., Mitkovskaya N.P., Kuchinskii A.V., Laskina O.V. Spectral manifestations of photochemical reactions at therapeutical doses of blood UV irradiation in vivo. *J Appl Spectrosc*, 2008, vol. 75, pp. 400–405.
- Zalesckaya G.A., Ulaschik V.S., Kalosha I.I. Spektralnye kharakteristiki krovi, obluchaemoy in vivo terapevticheskimi dozami UV izlucheniya [Spectral characteristics of blood irradiated in vivo by therapeutic doses of ultraviolet radiation], *Optika i spektroskopija*, 2009, vol.107, no. 4, pp. 695–702. (in Russian).
- Zalesckaya G.A., Ulaschik V.S. Molecular mechanisms of photohemotherapy action, *J Appl Spectrosc*, 2009, vol. 76, no. 1, pp. 51–75.
- Zalesckaya G.A., Laskina O.V. Fotofizicheskie processy, opredel'ajustchie biologicheskiju i terapevticheskiju effektivnost ultrafioletovogo oblucheniya krovi [Photophysical processes that determine the biological and therapeutic efficacy of extracorporeal ultraviolet irradiation of blood], *Biomedical radioelektronika*, 2010, no. 3, pp. 35–41. (in Russian).
- Karandashov V.I., Kvitko N.N., Slinchenko O.I., Aleksandrova N.P. Elektronno-mikroskopicheskoe issledovanie formy eritocitov posle ekstrakorporalnogo ultrafioletovogo i krasnogo kogerentnogo oblucheniya krovi [Electron microscopic study forms of erythrocytes after blood irradiation by extracorporeal UV and coherent red light], *Bjul experimental biologii i mediciny*, 1993, no. 5, pp. 530–532. (in Russian).
- Zalesckaya G.A., Akulich N.V., Marochkov A.V., Laskina O.V., Mitkovskaya N.P. Optical methods for correction of blood oxygentransport characteristics and their biomedical applications. *J Appl Spectrosc*, 2010, vol.77, no. 3, pp. 451–459.
- Bajbekov I.M., Mavlyan-Chodzhaev R.Sh., Erstkis A.G., Moskin S.V. *Erythrocyty v norme, patologii i pri lasernom vzaimodejstvii* [Erythrocytes in norm, pathology and under laser irradiation]. Moscow, (2008). (in Russian).
- Potashov L.V., Chemina R.V. Ultrafioletovoje obluchenie sobstvennoj krovi [Ultraviolet irradiation of own blood]. *Vestnik khirurgii*, 1982, no. 6, pp. 130–133.
- Lowe T. *History & information on UBI technology in treatment of various disease conditions*. Drsubi.com (electronic resource). 2015. Available at: drsubi.com/wp-content/uploads/2015/03/ubiwhitepaper.pdf (accessed 26.03.2015).
- Zalesckaya G.A. Izmenenie pokazatelej oksigenacii krovi pri fotogemoterapii [Alterations of oxygenation parameters at photohemotherapy]. *Photobiology and photomedicine*, 2013, №1–2, pp. 56–63. (in Russian).
- Zalesckaya G.A., Kalosha I.I. Photomodification of blood by laser and ultraviolet radiation: a comparative study. *Biophys*, 2014 vol. 59, no. 4, pp. 799–804.

Поступила 20.07.2022

Таблица 1. Кислородный статус пациентов с острым коронарным синдромом без подъема сегмента ST при применении ультрафиолетовой модификации крови (УФМК), верхняя строка до УФМК, нижняя – после УФМК

Table 1. Oxygen status of patients with non-ST elevation acute coronary syndrome when using ultraviolet blood modification (UVBM), upper line – before UVBM, lower line – after UVBM