

Воздействие рентгеновского излучения увеличивает неоднородность изучаемой фракции липопротеинов и вызывает увеличение диаметра частиц при воздействии в дозе 1 Гр, не вызывая изменение этого показателя при воздействии в дозе 100 Гр (таблица 1). Увеличение среднего диаметра липопротеинов после облучения в дозе 1 Гр обусловлено, в первую очередь, появлением группы частиц с диаметром около 45 нм (рисунок 5).

#### **Заключение**

При облучении цельной крови рентгеновским излучением *in vitro* меняются морфологические параметры липопротеинов, относящихся к липопротеинам высокой и низкой плотности. Облучение в дозе 1 Гр приводит к увеличению высоты и диаметра при адгезии, объема и диаметра в жидкости липопротеиновых частиц. Изменение морфологических показателей липопротеиновых частиц после облучения крови в дозе 100 Гр имеет место, но менее выражено в сравнении с показателями контрольных образцов.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Harold, E. Obesity, adiposity, and dyslipidemia: A consensus statement from the National Lipid Association / E. Harold // J. of Clinical Lipidology. — 2013. — № 7. — P. 304–383.
2. Сравнительная характеристика *in vivo* моделей гиперлипидемии у крыс линии Вистар и мышей линии C57Bl/6 / С. А. Апятин // Вопросы питания. — 2016. — Т. 85, № 6. — С. 14–23.
3. Isolation of Plasma Lipoproteins as a Source of Extracellular RNA / K. Li [et al.] // Methods in Molecular Biology. — 2018. — Vol. 1740. — P. 139–153.
4. Anomalous lipoproteins in obese Zucker rats / M. Blay [et al.] // Diabetes, Obesity & Metabolism. — 2001. — Vol. 3, № 4. — P. 259–270.

**УДК 543.242:616-003.215+616-008.851]-073.75-092.4-092.6**

### **ПАРАМЕТРЫ РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ ПЛАЗМЫ КРОВИ И НАНОАРХИТЕКТониКИ ПОВЕРХНОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ КРЫС РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ *IN VITRO***

**Стародубцева М. Н.<sup>1,2</sup>, Челнокова И. А.<sup>2</sup>, Шклярова А. Н.,  
Шаховская О. Н.<sup>2</sup>, Цуканова Е. В.<sup>2</sup>, Егоренков Н. И.<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Учреждение образования**

**«Гомельский государственный медицинский университет»,**

**<sup>2</sup>Государственное научное учреждение**

**«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»**

**г. Гомель, Республика Беларусь**

#### **Введение**

Окислительно-восстановительные процессы (редокс-сигнализация, редокс-регуляция и др.) играют важную роль в формировании ответа клеток на действие ионизирующего излучения. Параметры текущего редокс-состояния клеток и их микроокружения связаны со свойствами клеток, их жизнедеятельностью и способностью к выполнению их функций. Устойчивость к механическому стрессу и высокая степень деформируемости являются важными чертами эритроцитов крови. Ионизирующее излучение вызывает образование свободных радикалов, активных форм кислорода и азота, изменяет структуру низкомолекулярных антиоксидантов и функции ферментов антиокислительной системы, что инициирует каскады реакций, приводящих к изменению мембранного скелета и механических свойств эритроцитов.

#### **Цель**

Сравнительный анализ характера зависимости параметров редокс-состояния плазмы крови и структурных свойств поверхности эритроцитов при облучении цельной крови крыс рентгеновским излучением *in vitro* с дозами от 0,5 до 200 Гр.

### **Материал и методы исследования**

До начала эксперимента было получено одобрение комитета по этике УО «Гомельский государственный медицинский университет» на проведение исследования (протокол № 2 от 24.03.2021). Животные содержались в стационарных условиях вивария Института радиобиологии НАН Беларуси согласно установленным нормам. Кровь самцов крыс линии Wistar (5 животных, 10 мес.) отбирали из хвостовой вены печени на фоне глубокого эфирного наркоза. Опытный образец, объемом 2 мл облучали рентгеновским излучением на установке биологического назначения X-Rad 320 Precision X-ray Inc (напряжение на трубке 320 кВ, мощность дозы 98,8 сГр/мин, фильтр № 1 (2 мм Al) расстояние до объекта 40 см) с дозой в диапазоне 0,5–200 Гр. Для оценки редокс-параметров плазмы крови использовали методику, основанную на люминол-зависимой хемилюминесценции системы с генератором свободных радикалов — органическим азосоединением АБАП [1] с небольшими изменениями. Кинетику хемилюминесценции записывали с помощью многофункционального планшетного ридера Tecan Infinite M200 в течение 2-х ч. Антиоксидантные и прооксидантные свойства плазмы оценивали с помощью следующих параметров кинетической кривой развития хемилюминесценции в системе «АБАП + люминол + плазма крови»: длительность латентной фазы ( $t_{\text{лат}}$ ) и скорости нарастания хемилюминесценции ( $\alpha$ ). Активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли спектрофотометрически с использованием реакции автоокисления адреналина в щелочной среде в присутствии нитросинего тетразолия. Метод адаптирован под использование 96-луночных микропланшетов и планшетных ридеров-фотометров [2]. Эритроциты осаждались центрифугированием с последующей фиксацией раствором 1 % глутарового альдегида и отмывкой фосфатно-солевым буфером и дистиллированной водой. Фиксированные эритроциты наносили на стекла с адгезивным покрытием и высушивали при комнатных условиях. Оценку механических свойств поверхностного слоя проводили с помощью атомно-силового микроскопа BioScope Resolve в режиме записи PeakForceQNM in Air на воздухе иглой-зондом SCANASYST-AIR с радиусом закругления 2 нм с пиковой нагрузкой 500 пН. В каждой точке скана (250 нм × 250 нм, 256 × 256 пикселей,  $f = 0,5$  Гц,  $F(\text{пиковая}) = 500$  пН) автоматически проводилась запись силовой кривой, по параметрам, которой в выбранной точке оценивалась сила адгезии и модуль Юнга. Обработка полученных сканов проводилась в программе NanoScope Analysis 1.9. Определяли шероховатость ( $R_a$ ) АСМ-изображений, полученным по каналу Height sensor. Пространственный период ( $T$ ) оценивали с помощью построения кривых спектральной плотности (опция Power Spectral Density) для карт сил адгезии, по кривым определяли частоту, соответствующую ее максимуму, которую затем переводили в пространственный период (в нм). Полученные данные проверялись на соответствие нормальному распределению методом Шапира — Уилка. Данные представлены как среднее выборочное и границы 95 % доверительного интервала ( $M \pm \Delta M$ ). Для проверки значимости различия между средними использовали t-критерий Стьюдента.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В работе оценено редокс-состояние плазмы крови по параметрам кривой хемилюминесценции, имеющей место в системе «генератор свободных радикалов АБАП + люминол + плазма крови», и активности СОД, одного из основных ферментов антиоксидантной системы.

В таблице 1 представлены параметры редокс-состояния плазмы крови крыс для образцов крови после ее облучения *in vitro* рентгеновским излучением с дозами 0,5–200,0 Гр. С увеличением дозы рентгеновского излучения активность СОД увеличивалась в сравнении с контрольными образцами крови при дозе

1 Гр и снижалась при высокой дозе 200 Гр. Похожим образом изменялась длительность латентной фазы хемилюминесценции изучаемой системы, ассоциированная с антиоксидантными свойствами плазмы крови. Имело место существенное уменьшение параметра при дозе 200 Гр (таблица 1). В то же самое время, параметр  $\alpha$ , характеризующий прооксидантные свойства плазмы крови, т. е. дополнительное производство в изучаемой системе активных форм кислорода и азота, соответственно при дозах 0,5–50,0 Гр был значительно снижен в сравнении с параметром, характерным для плазмы крови после облучения рентгеновским излучением в дозе 200 Гр (таблица 1).

Таблица 1 — Параметры редокс-свойств плазмы крови крыс после облучения рентгеновским излучением *in vitro*

Доза, Гр	$t_{лат}/t_k$ , отн. ед.	$\alpha/\alpha_k$ , отн. ед.	$[СОД]/[СОД]_k$ , отн. ед.
0	$1,00 \pm 0,11$	$1,00 \pm 0,00$	$1,00 \pm 0,07$
0,5	$1,06 \pm 0,17$	$0,87 \pm 0,14^{**}$	$1,39 \pm 0,34^{**}$
1	$1,02 \pm 0,16$	$0,79 \pm 0,22^{**}$	$1,47 \pm 0,24^{*,**}$
10	$0,92 \pm 0,16$	$0,88 \pm 0,17$ ( $p = 0,053^{**}$ )	$1,56 \pm 0,68$
50	$0,96 \pm 0,20$	$0,86 \pm 0,17^{**}$	$1,41 \pm 0,54$
100	$0,96 \pm 0,11$	$0,98 \pm 0,17$	$1,40 \pm 0,45$ ( $p = 0,055^{**}$ )
200	$0,94 \pm 0,04^*$	$1,15 \pm 0,17$	$0,68 \pm 0,53^*$

*Примечание.*  $t_{лат}/t_k$  — относительное время латентной фазы развития хемилюминесценции,  $\alpha/\alpha_k$  — относительная скорость нарастания хемилюминесценции в системе «АБАБ + люминол + плазма крови» относительно параметра контрольного образца ( $t_k, \alpha_k$ );  $[СОД]/[СОД]_k$  — относительная концентрация СОД в плазме крови относительно параметра контрольного образца ( $[СОД]_k$ ).  $p < 0,05$ ; t-критерий Стьюдента: \* — в сравнении с контролем, \*\* — в сравнении с 200 Гр.

С помощью атомно-силовой микроскопии были оценены параметры нанорукотектоники поверхности эритроцитов после действия на кровь крыс рентгеновским излучением в разных дозах. Для малых участков поверхности клеток размером 1 мкм × 1 мкм была рассчитана шероховатость — параметр, характеризующий степень развитости поверхности в пространстве. С увеличением дозы ионизирующего излучения шероховатость поверхности клеток уменьшалась при малой дозе (0,5 Гр), т. е. поверхность становилась глаже, и увеличивалась при более высокой дозе, что свидетельствовало об увеличении «смятости» поверхности (таблица 2). Для этих же малых участков поверхности клеток, но с использованием карт сил адгезии, которые дают более ясное представление о пространственной структуре двумерного мембранного скелета эритроцитов, был оценен средний размер элементарной ячейки этой актин-спектриновой сети эритроцитов. С увеличением дозы рентгеновского излучения наблюдается (при дозе свыше 1 Гр) резкое уменьшение размеров ячейки мембранного скелета эритроцитов (таблица 2). Это уменьшение размера ячейки сети цитоскелета коррелирует с увеличением шероховатости поверхности эритроцитов (таблица 2).

Таблица 2 — Шероховатость поверхности эритроцитов ( $R_q$ ) и средний размер ( $T$ ) ячейки актин-спектриновой сети (мембранного скелета) эритроцитов после облучения крови рентгеновским излучением *in vitro*

Доза, Гр	$R_q$ , нм	$T$ , нм
0	$2,3 \pm 0,9$	$61,0 \pm 11,2^{**}$
0,5	$1,0 \pm 0,1^{*,**}$	$59,3 \pm 8,2^{**}$
1	$1,6 \pm 0,3^{**}$	$50,9 \pm 11,9^{**}$
10	$2,7 \pm 0,5^{**}$	$39,8 \pm 6,5^*$
50	$2,4 \pm 0,7$	$34,3 \pm 6,3^*$
100	$2,7 \pm 0,7^{**}$	$41,7 \pm 6,3^*$
200	$2,0 \pm 0,3$	$39,7 \pm 6,7^*$

*Примечание.*  $p < 0,05$ ; t-критерий Стьюдента: \* — в сравнении с контролем, \*\* — в сравнении с 200 Гр.

Сравнительный анализ характера изменений параметров структурных свойств поверхности эритроцитов (клеток) и редокс-свойств их микроокружения (плазмы) в сложнокомпонентной клеточной системе (крови) позволяет выявить интервалы доз рентгеновского излучения, в которых механизмы ответа крови на облучение принципиально различаются. В интервале доз 0,5–1,0 Гр преобладают механизмы редокс-регуляции, а в интервале доз свыше 100–200 Гр — активации окислительных процессов (окислительный стресс), что приводит к перестройке мембранного скелета эритроцитов и изменению механических свойств эритроцитов.

### **Заключение**

В работе выявлен схожий характер дозозависимых изменений параметров редокс-состояния плазмы крови и наноархитектоники поверхности эритроцитов после облучения цельной крови крыс рентгеновским излучением *in vitro* в диапазоне доз 0,5–200,0 Гр, что свидетельствует о возможности использования в качестве биомаркеров радиационно-индуцированных повреждений крови как параметры редокс-состояния плазмы, так и АСМ-параметры поверхности эритроцитов.

*Работа выполнена в рамках задания 3.1.2 темы ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма 3 «Радиация и биологические системы».*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Изменения в кинетике хемилюминесценции плазмы как мера системного окислительного стресса в организме человека / М. М. Созарукова [и др.] // Биофизика. — 2016. — Т. 61, № 2. — С. 337–344.
2. Sirota, T. V. Use of nitro blue tetrazolium in the reaction of adrenaline autooxidation for the determination of superoxide dismutase activity / T. V. Sirota // Biomed. Khim. — 2013. — Vol. 59(4). — P. 399–410.

**УДК 57:[502:37]**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ВОСПИТАНИЕ В ПРЕПОДАВАНИИ МЕДИЦИНСКОЙ БИОЛОГИИ И ОБЩЕЙ ГЕНЕТИКИ**

**Фомченко Н. Е., Протасовицкая Р. Н., Концевая В. В.**

**Учреждение образования  
«Гомельский государственный медицинский университет»  
г. Гомель, Республика Беларусь**

### **Введение**

Экологическое воспитание вызвано потребностью времени, так как в современных условиях процесс антропогенного воздействия на природу стремительно меняет окружающую среду обитания человека, поэтому вопрос экологического воспитания приобретает особую значимость и является одним из ведущих направлений воспитания молодежи в вузе. В свою очередь, экологизация связана с формированием экологического мировоззрения и осознания необходимости сохранения среды обитания для дальнейшего существования человечества.

Экологические принципы подхода к оценке здоровья человека в деятельности врача являются немаловажным аспектом, поэтому подготовка экологически грамотных специалистов является одной из задач процесса образования.

Экологическое воспитание будущих врачей является одним из приоритетных направлений деятельности кафедры биологии в преподавании дисциплины медицинская биология и общая генетика.

### **Цель**

Рассмотреть основные элементы экологического воспитания в рамках преподавания дисциплины медицинская биология и общая генетика.