

## ПОКАЗАТЕЛИ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ ЭРИТРОЦИТАРНЫХ МЕМБРАН У ДЕТЕЙ И НОВОРОЖДЁННЫХ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЗОНЕ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА

З.А. БАДАЛОВА, Д.С. ДОДХОЕВ

Кафедра детских болезней № 1, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино, Душанбе, Республика Таджикистан

**Цель:** посредством изучения сорбционной способности эритроцитов (ССЭ) и проницаемости эритроцитарных мембран (ПЭМ) оценить функциональное состояние биологических мембран эритроцитов у детей, проживающих в зоне повышенного радиационного фона.

**Материал и методы:** были определены показатели сорбционной способности и проницаемости эритроцитарных мембран в крови у 18 новорождённых и у 20 детей с 3 до 5 лет, проживающих в районе повышенного радиационного фона. Контрольную группу составили 38 детей, проживающих в районах с естественным радиационным фоном. ССЭ определяли по степени поглощения красителя метиленового синего. ПЭМ определяли по степени гемолиза эритроцита в растворах с возрастающей концентрацией мочевины.

**Результаты:** показатели ССЭ у детей, проживавших в условиях с нормальным фоном радиации, составили: у новорождённых –  $37,1 \pm 0,2\%$ ; у детей 3 лет –  $37,4 \pm 0,2\%$ ; у детей 4 лет –  $37,6 \pm 0,2\%$  и детей 5 лет –  $37,4 \pm 0,2\%$ . В то же время, у детей, живущих в условиях повышенного радиационного фона, было выявлено значительное повышение уровня ССЭ: у новорождённых –  $58,8 \pm 0,2\%$ ; у детей 3 лет –  $59,1 \pm 0,3\%$ ; у детей 4 лет –  $59,2 \pm 0,2\%$ ; у детей 5 лет –  $59,0 \pm 0,3\%$ . При этом, как и у детей контрольной группы, изменения значений уровня ССЭ в зависимости от возраста в основной группе также колебались в пределах статистической ошибки ( $p > 0,05$ ). При сравнении данных ПЭМ у детей основной группы по сравнению с показателями детей контрольной группы выявлено значительное повышение. Так, если у новорождённых детей контрольной группы в зависимости от разведения мочевины ПЭМ колебалась от  $5,6 \pm 0,5\%$  в I пробе и до  $20,1 \pm 0,3\%$  в VI пробе, то в основной – от  $10,3 \pm 0,2\%$  и до  $59,3 \pm 0,9\%$  соответственно. Подобная динамика наблюдалась и у старших детей: в возрасте 3 лет, в контрольной группе – от  $3,4 \pm 0,6\%$  и до  $23,4 \pm 1,6\%$ , в основной – от  $10,3 \pm 0,7\%$  и до  $56,8 \pm 1,9\%$  соответственно; в возрасте 4 года, в контрольной группе – от  $8,2 \pm 1,2\%$  до  $25,2 \pm 3,0\%$ , в основной – от  $24,1 \pm 1,7\%$  до  $59,0 \pm 0,9\%$  соответственно и в возрасте 5 лет, в контрольной группе – от  $7,5 \pm 2,2\%$  до  $22,5 \pm 2,5\%$ , в основной – от  $22,7 \pm 3,3\%$  до  $55,5 \pm 2,1\%$  соответственно.

**Заключение:** исследование проницаемости эритроцитарных мембран и сорбционной способности эритроцитов у детей, проживающих в зоне повышенного радиационного фона, выявило значительные изменения свойств мембран эритроцитов, свидетельствующих о высоком уровне их повреждения.

**Ключевые слова:** новорождённые, дети, радиация, сорбционная способность эритроцитов, проницаемость эритроцитарных мембран.

**Для цитирования:** Бадалова ЗА, Додхоев ДС. Показатели сорбционной способности и проницаемости эритроцитарных мембран у детей и новорождённых, проживающих в зоне повышенного радиационного фона. *Вестник Авиценны*. 2019;21(4):597-602. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-4-597-602>.

## INDICATORS OF SORPTION ABILITY AND PERMEABILITY OF ERYTHROCYTE MEMBRANES IN CHILDREN AND NEWBORNS, LIVING IN THE AREA OF INCREASED RADIATION BACKGROUND

Z.A. BADALOVA, J.S. DODKHOEV

Department of Pediatric Diseases № 1, Avicenna Tajik State Medical University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

**Objective:** By studying the permeability of erythrocyte membranes (PEM) and the sorption ability of erythrocytes (SAE) to assess functional state of the biological membranes of red blood cells in children living in the area of increased radiation background.

**Methods:** Indicators of SAE and PEM in the blood of 18 newborns and in 20 children from 3 to 5 years old, living in the area of increased background radiation were determined. The control group consisted of 38 children, living in areas with a natural radiation background. The SAE determined by the degree of absorption of methylene blue dye. PEM was determined by the degree of erythrocyte hemolysis in solutions with increasing urea concentration.

**Results:** The rates of SAE in children living under normal radiation background were: in newborns –  $37.1 \pm 0.2\%$ ; in children 3 years old –  $37.4 \pm 0.2\%$ ; in children 4 years old –  $37.6 \pm 0.2\%$ ; and children 5 years old –  $37.4 \pm 0.2\%$ . At the same time, children living in increased radiation background were found to have significantly increased levels of SAE: newborns –  $58.8 \pm 0.2\%$ ; children 3 years old –  $59.1 \pm 0.3\%$ ; children 4 years old –  $59.2 \pm 0.2\%$ ; and children of 5 years –  $59.0 \pm 0.3\%$ . As in the children of the control group, in the main group changes in the values of the SAE level depending on age also fluctuated within the statistical error ( $p > 0.05$ ). When comparing PEM data, the children in the main group showed a significant increase compared to the children in the control group. Thus, if in newborn children of the control group, depending on the dilution of urea, PEM ranged from  $5.6 \pm 0.5\%$  in the I sample and up to  $20.1 \pm 0.3\%$  in the VI sample, in the main group – from  $10.3 \pm 0.2\%$  and to  $59.3 \pm 0.9\%$ , respectively. Similar dynamics were observed in older children: at the age of 3 years, in the control group – from  $3.4 \pm 0.6\%$  and to  $23.4 \pm 1.6\%$ , in the main – from  $10.3 \pm 0.7\%$  and up to  $56.8 \pm 1.9\%$ , respectively; 4 years of age, in the control group – from  $8.2 \pm 1.2\%$  and up to  $25.2 \pm 3.0\%$ , in the main – from  $24.1 \pm 1.7\%$  to  $59.0 \pm 0.9\%$ , respectively, and the age of 5 years, in the control group – from  $7.5 \pm 2.2\%$  to  $22.5 \pm 2.5\%$ , in the main – from  $22.7 \pm 3.3\%$  to  $55.5 \pm 2.1\%$ , respectively.

**Conclusions:** Studies of permeability of erythrocyte membranes and sorption ability of erythrocytes in children living in the area of increased radiation background, revealed significant changes in the properties of erythrocyte membranes, indicating a high level of damage.

**Keywords:** Newborns, children, radiation, sorption ability of erythrocytes, permeability of erythrocytes.

**For citation:** Badalova ZA, Dodkhoev JS. Pokazатели sorbtionnoy sposobnosti eritrotsitov i pronitsaemosti eritrotsitarnykh membran u detey i novorozhdyonnykh, prozhivayushchikh v zone povyshennogo radiatsionnogo fona [Indicators of sorption ability and permeability of erythrocyte membranes in children and newborns, living in the area of increased radiation background]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*. 2019;21(4):597-602. Available from: <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-4-597-602>.

## ВВЕДЕНИЕ

Организм человека в процессе своей жизнедеятельности постоянно подвергается воздействию многих факторов окружающей среды, которые могут носить разнонаправленный характер. В одном случае такое воздействие стимулирует организм, в другом – наносит вред. Большая часть отрицательных влияний реализуется посредством активации прооксидантной системы с выработкой свободнорадикальных соединений, которые разрушительно воздействуют на биологические мембраны организма [1, 2].

Однако в организме присутствует и антиоксидантная система, задачей которой является препятствовать свободнорадикальному разрушению биологических мембран. Свою защитную функцию данная система осуществляет посредством захвата и нейтрализации свободных радикалов, но не препятствует их образованию [3]. В связи с этим, равновесие процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной защиты (АОЗ) является динамическим и может сдвигаться как в сторону агрессии свободных радикалов, так и в сторону защиты.

В случаях, когда факторы защиты истощаются при длительном воздействии агрессивных факторов внешней среды, происходят изменения биологических мембран. Наиболее сильно подвержены такому воздействию биомембраны компонентов крови, т.к. они наиболее динамичны и напрямую соприкасаются с кислородом, который легко превращается в активную агрессивную форму. Поэтому часто биологическая мембрана эритроцитов используется как живая биологическая модель для исследования [4].

Мембрана эритроцитов по строению представляет собой двойной липидно-белковый комплекс с углеводно-белковым гликокалексом [5]. Изменения, которые происходят в биологической мембране, а именно в фосфолипидах, под воздействием перекисных процессов, прежде всего, изменяют их текучесть. Текучесть липидного слоя определяет деформируемость мембран, которая так необходима для эритроцитов в момент прохождения ретикуло-эндотелиальных систем органов [6, 7]. Кроме того, изменённые ПОЛ фосфолипиды сами становятся «токсичными», т.е. становятся носителями свободных радикалов. При этом в эритроцитарной биомембране появляются бреши, что приводит к снижению барьерной функции мембраны [8, 9]. Изменение свойств мембран, а именно повышение проницаемости, а также изменение сорбционной способности позволяет судить о степени повреждения эритроцитарных мембран [10].

Зная, что дети, живущие в зоне повышенной радиации, постоянно подвергаются воздействию радиоактивных лучей и частиц, было решено оценить, насколько изменены свойства эритроцитарных мембран у данного контингента детей.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Посредством изучения сорбционной способности эритроцитов (ССЭ) и проницаемости эритроцитарных мембран (ПЭМ) оценить функциональное состояние биологических мембран эритроцитов у детей, проживающих в зоне повышенного радиационного фона.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились у детей, живущих в Б. Гафуровском районе, где радиационный фон был повышен и составлял по гамма-излучению до  $2,28 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ , а по радону – до  $275,08 \text{ Бк}/\text{м}^3$  (основная группа), и у детей, проживающих в условиях

с естественным радиационным фоном (контрольная группа): гамма-излучение –  $0,2 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ , по радону –  $100 \text{ Бк}/\text{м}^3$  (данные Агентства по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан).

ССЭ была определена в основной группе у 18 новорождённых, 18 детей 3 лет, 18 детей 4 лет и 18 детей 5 лет. Контрольную группу распределили таким же образом по 18 новорождённых, детей 3, 4 и 5 лет.

ПЭМ была изучена у 10 новорождённых, у 5 детей 3 лет, у 5 детей 4 лет и 5 детей 5 лет, проживающих в районе повышенного радиационного фона. В контрольную группу также были включены подобным образом дети из каждой возрастной подгруппы (10 новорождённых и по 5 детей 3, 4 и 5 лет), проживающих в районах с естественным радиационным фоном.

Для исследования ССЭ и ПЭМ использовалась эритроцитарная масса, полученная из цельной крови путём центрифугирования. ССЭ определяли методом поглощения метиленового синего, определение уровня ПЭМ проводили методом мочевинового гемолиза. Процент гемолиза эритроцитов определяли в 6 разведениях мочевины (мочевина: физиологический раствор – 40%:60% (I проба); 45%:55% (II проба); 50%:50% (III проба); 55:45% (IV проба); 60%:40% (V проба) и 65%:35% (VI проба)) по отношению к 100% гемолизу в пробирке со 100% мочевиной (VII проба). Данные анализы выполнялись на кафедре биохимии ТГМУ им. Абуали ибни Сино.

Анализ полученных данных проводился с помощью программы «Statistica 10.0» (StatSoft Inc., USA) методами вариационной статистики с подсчётом средних величин и ошибки средней ( $M \pm SE$ ). С учётом того, что нормальность распределения данных не соответствовала Гауссовой кривой (по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Вилка – значимые отклонения), дисперсионный анализ проводился по непараметрическим методам – по  $H$ -критерию Крускала-Уоллиса для множественных сравнений и по  $U$ -критерию Манна-Уитни для парного сравнения независимых выборок. Нулевая гипотеза отвергалась при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования сорбционной способности эритроцитов у детей различных возрастных групп показали, что данный показатель не зависит от возраста (табл. 1), и поглощение метиленового синего составляет от  $37,1 \pm 0,2\%$  до  $37,6 \pm 0,2\%$  ( $p > 0,05$ ;  $N = 4,0$ ). В то же время, в группе детей, проживающих в зоне с повышенным радиационным фоном, выявлено более высокое поглощение метиленового синего, от  $58,8 \pm 0,2\%$  до  $59,2 \pm 0,2\%$ , что значительно ( $p < 0,001$ ;  $Z = -5,1$ ) выше показателей детей контрольной группы. Так же, как и в контрольной группе, среди детей основной группы возрастных особенностей не выявлено ( $p > 0,05$ ;  $N = 1,4$ ).

Исследование проницаемости эритроцитарных мембран у детей контрольной группы показало небольшие изменения в I и IV пробах у детей 3 лет. Во всех остальных пробах и возрастных группах изменения были минимальными и незначительными (табл. 2).

В то же время у детей основной группы по I и I пробам наблюдается значительное увеличение ПЭМ в зависимости от возраста, т.е. по мере взросления ребёнка ПЭМ увеличивается (табл. 3).

При сравнении данных ПЭМ у детей основной группы по сравнению с показателями детей контрольной группы выявлено значительное повышение с I по VI пробы. Это говорит о том, что у детей основной группы значительно повышен процент повреждённых эритроцитов (табл. 4).

**Таблица 1** ССЭ в исследуемых группах ( $M \pm SE$ )

Группы	Возраст	НР	3 года	4 года	5 лет	p
Контрольная		37,1±0,2 (n=18)	37,4±0,2 (n=18)	37,6±0,2 (n=18)	37,4±0,2 (n=18)	=0,2651 (H=4,0)
Основная		58,8±0,2 (n=18)	59,1±0,3 (n=18)	59,2±0,2 (n=18)	59,0±0,3 (n=18)	=0,7130 (H=1,4)
$p_0$		=0,0000 (Z=-5,1)	=0,0000 (Z=-5,1)	=0,0000 (Z=-5,1)	=0,0000 (Z=-5,1)	

Примечание: p – статистическая значимость различия показателей между всеми возрастными группами (по H-критерию Крускала-Уоллиса);  $p_0$  – статистическая значимость различий между показателями основной и контрольной групп (по U-критерию Манна-Уитни); НР – новорождённые

**Таблица 2** ПЭМ у детей, проживающих в зоне с нормальным радиационным фоном (контрольная группа) ( $M \pm SE$ )

Возраст	I проба 40%:60%	II проба 45%:55%	III проба 50%:50%	IV проба 55%:45%	V проба 60%:40%	VI проба 65%:35%	VII проба 100%
НР (n=10)	5,6±0,5	10,5±0,3	12,7±0,3	15,7±0,3	18,0±0,3	20,1±0,3	100
3 года (n=5)	3,4±0,6 $p_1 > 0,05$	8,6±0,9	13,9±1,0	19,9±1,3 $p_1 < 0,05$	21,4±1,7	23,4±1,6	100
4 года (n=5)	8,2±1,2 $p_1 > 0,05$ $p_2 < 0,05$	9,9±1,0	11,4±1,0	16,4±1,4 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$	20,9±2,1	25,2±3,0	100
5 лет (n=5)	7,5±2,2 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	10,7±1,7	13,6±1,6	16,5±1,6 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	20,6±2,6	22,5±2,5	100
p	=0,0358 (H=8,7)	=0,3485 (H=3,3)	=0,3791 (H=3,1)	=0,0442 (H=8,1)	=0,1006 (H=6,2)	=0,1025 (H=6,2)	(H=0,0)

Примечание: p – статистическая значимость различия показателей между всеми группами (по H-критерию Крускала-Уоллиса);  $p_1$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у новорождённых детей;  $p_2$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у детей 3 лет;  $p_3$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у детей 4 лет ( $p_1$ - $p_3$  по U-критерию Манна-Уитни); НР – новорождённые

**Таблица 3** ПЭМ у детей, проживающих в зоне повышенного радиационного фона (основная группа) ( $M \pm SE$ )

Возраст	I проба 40%:60%	II проба 45%:55%	III проба 50%:50%	IV проба 55%:45%	V проба 60%:40%	VI проба 65%:35%	VII проба 100%
НР (n=10)	10,3±0,2	14,9±0,9	28,4±1,5	43,1±2,1	56,4±1,4	59,3±0,9	100
3 года (n=5)	10,3±0,7 $p_1 > 0,05$	17,6±1,0 $p_1 > 0,05$	27,6±1,1	35,7±1,7 $p_1 > 0,05$	45,6±1,7 $p_1 < 0,01$	56,8±1,9	100
4 года (n=5)	24,1±4,7 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$	28,0±4,4 $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$	36,7±2,6	45,4±1,0 $p_1 > 0,05$ $p_2 < 0,05$	53,8±1,3 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$	59,0±0,9	100
5 лет (n=5)	22,7±3,3 $p_1 < 0,05$ $p_2 < 0,05$ $p_3 > 0,05$	30,9±3,1 $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	35,5±3,3	45,3±3,2 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	50,8±2,5 $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	55,5±2,1	100
p	=0,0042 (H=13,2)	=0,0028 (H=14,1)	=0,0503 (H=8,0)	=0,0224 (H=9,6)	=0,0095 (H=11,5)	=0,3478 (H=3,3)	(H=0,0)

Примечание: p – статистическая значимость различия показателей между всеми группами (по H-критерию Крускала-Уоллиса);  $p_1$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у новорождённых детей;  $p_2$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у детей 3 лет;  $p_3$  – статистическая значимость различия показателей по сравнению с таковыми у детей 4 лет ( $p_1$ - $p_3$  по U-критерию Манна-Уитни); НР – новорождённые

Ранее подобные исследования проводились у хирургических и реанимационных больных для определения уровня эндоинтоксикации [11]. У новорождённых подобные исследования проводились при острой гипоксии и диабетической фетопатии [12]. То есть изучались другие факторы, приводящие к изменениям свойств эритроцитарных мембран. Применения методов исследования ПЭМ и ССЭ у детей при повышенном радиационном фоне в доступной литературе не найдено.

Тем не менее, на данный момент изучены все механизмы повреждения биологических мембран в живых организмах. Поэтому существует возможность объяснить полученные результаты. Прежние исследования показали, что в зоне повышенного радиационного фона в организме больше образуется активных форм кислорода, и, как следствие, увеличивается количество малонового диальдегида, что говорит о высоком уровне ПОЛ [13]. При этом снижено содержание супероксиддисмутазы, свидетельствующее о том, что постоянное влияние повышенной радиации ведёт к не-

**Таблица 4** Различия ПЭМ у детей основной и контрольной групп ( $M \pm SE$ )

Группы	I проба 40%:60%	II проба 45%:55%	III проба 50%:50%	IV проба 55%:45%	V проба 60%:40%	VI проба 65%:35%	VII проба 100%	
НР	K	5,6±0,5	10,5±0,3	12,7±0,3	15,7±0,3	18,0±0,3	20,1±0,3	100
	O	10,3±0,2	14,9±0,9	28,4±1,5	43,1±2,1	56,4±1,4	59,3±0,9	100
	p	=0,0000 (Z=-3,7)	=0,0003 (Z=-3,3)	=0,0000 (Z=-3,7)	=0,0000 (Z=-3,7)	=0,0000 (Z=-3,7)	=0,0000 (Z=-3,7)	=0,0000 (Z=-3,7)
3 года	K	3,4±0,6	8,6±0,9	13,9±1,0	19,9±1,3	21,4±1,7	23,4±1,6	100
	O	10,3±0,7	17,6±1,0	27,6±1,1	35,7±1,7	45,6±1,7	56,8±1,9	100
	p	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)
4 года	K	8,2±1,2	9,9±1,0	11,4±1,0	16,4±1,4	20,9±2,1	25,2±3,0	100
	O	24,1±4,7	28,0±4,4	36,7±2,6	45,4±1,0	53,8±1,3	59,0±0,9	100
	p	=0,0159 (Z=-2,3)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)
5 лет	K	7,5±2,2	10,7±1,7	13,6±1,6	16,5±1,6	20,6±2,6	22,5±2,5	100
	O	22,7±3,3	30,9±3,1	35,5±3,3	45,3±3,2	50,8±2,5	55,5±2,1	100
	p	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)	=0,0079 (Z=-2,5)

Примечание: К – контрольная группа; O – основная группа; p – статистическая значимость различий показателей между группами (по U-критерию Манна-Уитни); НР – новорождённые

которому дефициту в АОС. При преобладании процессов ПОЛ над процессами антиоксидантной защиты происходит повреждение мембран. В мембранах возникают бреши, что ведёт к снижению барьерной функции [14]. Это мы и выявили при изучении свойств эритроцитарных мембран посредством исследования ПЭМ и ССЭ. Именно из-за брешей в мембране эритроцитов, последние больше поглощают метиленовую синь, и поэтому процент разрушенных эритроцитов от мочевины так высок, несмотря на то, что мочевина является естественным компонентом в нашем организме.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследования сорбционной способности эритроцитов и проницаемости эритроцитарных мембран у де-

тей, проживающих в зоне повышенного радиационного фона, выявили значительные изменения свойств мембран эритроцитов, свидетельствующие о высоком уровне их повреждения. Повышенное поглощение красителя (метиленового синего) эритроцитами у детей из местности с повышенным радиационным фоном свидетельствовало о наличии дефектов в биологических мембранах клеток, и, в то же время, лёгкость разрушения эритроцитов мочевиным гемолизом свидетельствовала о хрупкости мембран и снижении их текучести. Все данные изменения подтверждают то, что в организме детей, проживающих в зоне с повышенным радиационным фоном, стойкость биологических мембран к различным факторам агрессии (интоксикации, инфекции и др.) снижена.

## ЛИТЕРАТУРА

- Possenti CD, Karadas F, Colombo G, Caprioli M, Rubolini D, Milzani A, et al. Antioxidants and embryo phenotype: is there experimental evidence for strong integration of the antioxidant system? *J Exp Biol.* 2017;220(Pt 4):615-24. Available from: <https://doi.org/10.1242/jeb.146498>.
- Генинг ТП, Абакумова ТВ, Долгова ДР, Воронова ОС, Антонева ИИ, Золотовский ИО. Морфофункциональный статус эритроцитов больных раком шейки матки после воздействия фемтосекундного лазерного излучения. *Клиническая медицина.* 2014;6(1):62-7.
- Ишутина НА, Дорофиевко НН. Взаимосвязь изменений состава полиненасыщенных жирных кислот и свободнорадикальных процессов в мембране эритроцитов крови пуповины новорождённых при цитомегаловирусной инфекции. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН.* 2016;1(3-2):29-32.
- Аль Меселмани МА, Евсеева МА, Абазид ХА, Евсеев АВ. Влияние ионизирующего излучения на энергетический обмен и морфологию семенников. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии.* 2013;12(1):42-61.

## REFERENCES

- Possenti CD, Karadas F, Colombo G, Caprioli M, Rubolini D, Milzani A, et al. Antioxidants and embryo phenotype: is there experimental evidence for strong integration of the antioxidant system? *J Exp Biol.* 2017;220(Pt 4):615-24. Available from: <https://doi.org/10.1242/jeb.146498>.
- Gening TP, Abakumova TV, Dolgova DR, Voronova OS, Antoneeva II, Zolotovskiy IO. Morfofunktsional'nyy status eritrotsitov bol'nykh rakom sheyki matki posle vozdeystviya femtosekundnogo lazernogo izlucheniya [Morphofunctional status of red blood cells of patients with cervical cancer after exposure to femtosecond laser radiation]. *Klinicheskaya meditsina.* 2014;6(1):62-7.
- Ishutina NA, Dorofienko NN. Vzaimosvyaz' izmeneniy sostava polinenasyschennykh zhirnykh kislot i svobodnoradikal'nykh protsessov v membrane eritrotsitov krovi pupoviny novorozhdyonnykh pri tsetamegalovirusnoy infektsii [The relationship of changes in the composition of polyunsaturated fatty acids and free radical processes in the membrane of red blood cells of the umbilical cord of newborns with cytomegalovirus infection]. *Byulleten' VSNTS SO RAMN.* 2016;1(3-2):29-32.
- Al Meselmani MA, Evseeva MA, Abazid HA, Evseev AV. Vliaynie ioniziruyushchego izlucheniya na energeticheskiy obmen i morfologiyu semennikov [The effect of ionizing radiation on energy metabolism and testicular morphology]. *Vestnik Smolenskoj gosudarstvennoy meditsinskoy akademii.* 2013;12(1):42-61.

- Li N, Arief N, Edmands S. Effects of oxidative stress on sex-specific gene expression in the copepod *Tigriopus californicus* revealed by single individual RNA-seq. *Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics*. 2019;31:100608. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2019.100608>.
- Sutter I, Park R, Othman A, Rohrer L, Hornemann T, Stoffel M, et al. Apolipoprotein M modulates erythrocyte efflux and tubular reabsorption of sphingosine-1-phosphate. *J Lipid Res*. 2014;55(8):1730-7.
- Liu M, Seo J, Allegood J, Bi X, Boudyguina E, Gebre AK, et al. Hepatic apolipoprotein M (apoM) overexpression stimulates formation of larger apoM/sphingosine 1-phosphate-enriched plasma high density lipoprotein. *J Biol Chem*. 2014;289(5):2801-14.
- Selim, S. Sunkara M, Salous AK, Leung SW, Berdyshev EV, Bailey A, et al. Plasma levels of sphingosine 1-phosphate are strongly correlated with haematocrit, but variably restored by red blood cell transfusions. *Clin Sci*. 2011;121(12):565-72.
- Tanga HY, Wang CH, Hod HY, Wuf PT, Hung CL, Huang CY, et al. Lipidomics reveals accumulation of the oxidized cholesterol in erythrocytes of heart failure patients. *J Redox Biology*. 2018;14:499-508.
- Калинкин ОГ, Лобанов ГВ, Иванюк ДИ, Гридасова ЕИ, Калинин АО, Кузь ВН. Нарушение сорбционной способности и проницаемости мембран эритроцитов у пострадавших с повреждением таза. *Оригинальные достижения*. 2012;13(3):33-5.
- Михайлович ВА, Марусанов ВЕ, Бичун АБ, Доманская ИА. Проницаемость эритроцитарных мембран и сорбционная способность эритроцитов – оптимальные критерии тяжести эндогенной интоксикации. *Анестезиология и реаниматология*. 1993;5:66-9.
- Сафронов ВВ, Туаева НО, Анисимова ТЕ, Сибгатулин ТА, Мишагина ЕА, Зиятдинова ГА, и др. Изменение проницаемости мембран эритроцитов у новорожденных, перенесших внутриутробную гипоксию. *Казанский медицинский журнал*. 2010;91(1):62-4.
- Ванина ЕА, Целуйко СС, Войцеховский АВ. Механизмы воздействия ионизирующей радиации на клеточном уровне. *Амурский медицинский журнал*. 2014;1(5):80-7.
- Arellano-Mendoza MG, Vargas-Robles H, Del Valle-Mondragon L, Monica G, Rios A, Escalante B. Prevention of renal injury and endothelial dysfunction by chronic L-arginine and antioxidant treatment. *Renal Failure*. 2011;33(1):47-53.
- Li N, Arief N, Edmands S. Effects of oxidative stress on sex-specific gene expression in the copepod *Tigriopus californicus* revealed by single individual RNA-seq. *Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics*. 2019;31:100608. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2019.100608>.
- Sutter I, Park R, Othman A, Rohrer L, Hornemann T, Stoffel M, et al. Apolipoprotein M modulates erythrocyte efflux and tubular reabsorption of sphingosine-1-phosphate. *J Lipid Res*. 2014;55(8):1730-7.
- Liu M, Seo J, Allegood J, Bi X, Boudyguina E, Gebre AK, et al. Hepatic apolipoprotein M (apoM) overexpression stimulates formation of larger apoM/sphingosine 1-phosphate-enriched plasma high density lipoprotein. *J Biol Chem*. 2014;289(5):2801-14.
- Selim, S. Sunkara M, Salous AK, Leung SW, Berdyshev EV, Bailey A, et al. Plasma levels of sphingosine 1-phosphate are strongly correlated with haematocrit, but variably restored by red blood cell transfusions. *Clin Sci*. 2011;121(12):565-72.
- Tanga HY, Wang CH, Hod HY, Wuf PT, Hung CL, Huang CY, et al. Lipidomics reveals accumulation of the oxidized cholesterol in erythrocytes of heart failure patients. *J Redox Biology*. 2018;14:499-508.
- Kalinkin OG, Lobanov GV, Ivanyuk DI, Gridasova EI, Kalinkin AO, Kyz VN. Narushenie sorbtionnoy sposobnosti i pronitsaemosti membran eritrotsitov u postradavshikh s povregdeniem taza [Violation of the sorption ability and permeability of erythrocyte membranes in patients with pelvic damage]. *Original'nye dostizheniya*. 2012;13(3):33-5.
- Mikhaylovich VA, Marusanov VE, Bichun AB, Domanskaya IA. Pronitsaemost' eritrotsitarnykh membran i sorbtionnaya sposobnost' eritrotsitov – optimal'nye kriterii tyazhesti endogennoy intoksikatsii [Erythrocyte membrane permeability and the sorption capacity of erythrocytes – optimal criteria of the severity of endogenous intoxication]. *Anesteziologya i reanimatologiya*. 1993;5:66-9.
- Safronov VV, Tuaeva NO, Anisimova TE, Sibgatulin TA, Mishagina EA, Ziatdinova GA, i dr. Izmenenie pronitsaemosti membran eritrotsitov u novorozhdyonnykh, perenyosshikh vnutriutrobnuyu gipoksiyu [Changes in the permeability of erythrocyte membranes in newborns after intrauterine hypoxia]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2010;91(1):62-4.
- Vanina EA, Tseluyko SS, Voitsekhovskiy VV. Mekhanizmy vozdeystviya ioniziruyushchey radiatsii na kletochnom urovne [The mechanisms of exposure to ionizing radiation at the cellular level]. *Amurskiy meditsinskiy zhurnal*. 2014;1(5):80-7.
- Arellano-Mendoza MG, Vargas-Robles H, Del Valle-Mondragon L, Monica G, Rios A, Escalante B. Prevention of renal injury and endothelial dysfunction by chronic L-arginine and antioxidant treatment. *Renal Failure*. 2011;33(1):47-53.

## И СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бадалова Зебо Абдулхайровна**, аспирант кафедры детских болезней № 1, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0001-6135-2446

E-mail: z\_bad@mail.ru

**Додхоев Джамшед Саидбобоевич**, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры детских болезней № 1, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

ORCID ID: 0000-0002-9228-8544

E-mail: jamshedsd@yandex.com

### Информация об источнике поддержки в виде грантов, оборудования, лекарственных препаратов

Работа выполнялась в соответствии с планом НИР ТГМУ им. Абуали ибни Сино (№ государственной регистрации 0117TJ00845). Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов и медицинского оборудования авторы не получали

**Конфликт интересов:** отсутствует

## И AUTHOR INFORMATION

**Badalova Zebo Abdulkhayrovna**, Postgraduate Student, Department of Pediatric Diseases № 1, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0001-6135-2446

E-mail: z\_bad@mail.ru

**Dodkhoev Jamshed Saidboboievich**, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Pediatric Diseases № 1, Avicenna Tajik State Medical University

ORCID ID: 0000-0002-9228-8544

E-mail: jamshedsd@yandex.com

### Information about the source of support in the form of grants, equipment, and drugs

The work was carried out according to the plan of scientific research works of Avicenna Tajik State Medical University (state registration number – 0117TJ00845). The authors did not receive financial support from manufacturers of medicines and medical equipment

**Conflicts of interest:** The authors have no conflicts of interest

✉ АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

**Бадалова Зебо Абдулхайровна**

аспирант кафедры детских болезней № 1, Таджикский государственный медицинский университет им. Абуали ибни Сино

734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 139

Тел.: +992 (988) 532116

E-mail: z\_bad@mail.ru

✉ ADDRESS FOR CORRESPONDENCE:

**Badalova Zebo Abdulkhayrovna**

Postgraduate Student, Department of Pediatric Diseases № 1, Avicenna Tajik State Medical University

734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave., 139

Tel.: +992 (988) 532116

E-mail: z\_bad@mail.ru

**ВКЛАД АВТОРОВ**

Разработка концепции и дизайна исследования: БЗА, ДДС

Сбор материала: БЗА

Статистическая обработка данных: ДДС

Анализ полученных данных: ДДС

Подготовка текста: БЗА, ДДС

Редактирование: БЗА, ДДС

Общая ответственность: БЗА

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Conception and design: BZA, DJS

Data collection: BZA

Statistical analysis: DJS

Analysis and interpretation: DJS

Writing the article: BZA, DJS

Critical revision of the article: BZA, DJS

Overall responsibility: BZA

*Поступила* 29.08.2019

*Принята в печать* 25.12.2019

*Submitted* 29.08.2019

*Accepted* 25.12.2019