

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2026.1.9>

Влияние регулярной физической нагрузки на физико-химические свойства мембраны эритроцитов человека

К.В. Пыко, С.С. Осочук

Учреждение образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», г. Витебск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2026. – Том 25, №1. – С. 9-15.

Influence of regular physical training on physicochemical properties of erythrocyte membranes in man

K.V. Pyko, S.S. Osochuk

Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2026;25(1):9-15.

Резюме.

Цель работы – оценить физико-химические свойства мембраны эритроцитов у лиц с регулярной физической нагрузкой.

Материал и методы. Объектом исследования служили образцы крови 36 мужчин (28,5±5 лет) с регулярной физической нагрузкой и 48 мужчин (21,5±2 лет), не имеющих регулярные физические нагрузки. Отсутствие статистически значимой разницы между возрастными группами по исследуемым показателям позволило объединить выборки в две группы. Образцы крови брали натощак; мембраны эритроцитов выделяли по стандартной методике Доджа. Для оценки микровязкости и микрополярности липидного бислоя применяли спектрофлуориметрический метод с использованием пирена в концентрациях 1, 4 и 8 мкмоль/л. Параметры микровязкости определяли по коэффициенту эксимеризации пирена, микрополярность – по соотношению интенсивностей флуоресценции мономеров при 374 и 394 нм.

Результаты. У спортсменов выявлено достоверное повышение уровня триптофанилов и конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ (перекисного окисления липидов) ($p=0,001$), тогда как концентрация битирозинов не различалась между группами. Отмечено снижение микровязкости аннулярного и общего липидных пулов при низких концентрациях пирена и повышение микрополярности мембран при всех исследованных концентрациях.

Заключение. Регулярная физическая нагрузка ассоциируется с комплексными изменениями физико-химических свойств мембран эритроцитов, проявляющимися снижением микровязкости и увеличением микрополярности липидного бислоя.

Ключевые слова: эритроцит, мембрана, физическая нагрузка, пирен, микрополярность.

Abstract.

Objectives. To assess the physicochemical properties of erythrocyte membranes in individuals engaged in regular physical training.

Material and Methods. The study included 36 healthy male athletes (mean age is 28.5±5 years) undergoing standardized training programs and 48 healthy controls (21.5±2years) without regular physical activity. Blood samples were collected in the fasting state; erythrocyte membranes were isolated using Dodge's method. Membrane microviscosity and micropolarity were evaluated by fluorescence spectroscopy with pyrene as a probe at concentrations of 1, 4, and 8 μmol/L. Microviscosity was determined using the pyrene excimerization coefficient, and micropolarity was assessed by the ratio of monomer fluorescence intensities at 374 and 394 nm.

Results. Athletes demonstrated a significant increase in tryptophanyl fluorescence intensity and lipid peroxidation products (Lys-POL, $p=0.001$ compared to controls, whereas bityrosine levels showed no difference. A reduction in both annular and total lipid pool microviscosity was observed at low pyrene concentrations, as well as increase in membrane micropolarity in all studied concentrations.

Conclusions. Regular physical training is associated with structural and physicochemical remodeling of erythrocyte membranes, characterized by decreased microviscosity and increased lipid bilayer micropolarity. These changes are likely to reflect long-term membrane adaptation to elevated metabolic demands, contributing to optimized gas exchange and erythrocyte functionality in athletes.

Keywords: erythrocyte, membrane, physical activity, pyrene, micropolarity.

Введение

Мембрана эритроцита представляет собой высокоорганизованную и пластичную систему, способную адаптироваться к изменениям метаболических процессов организма. Она играет важную роль в обеспечении транспорта кислорода к тканям [1], участвуя в его обмене между эритроцитами и клетками, а также в регуляции проникновения эритроцитов в микроциркуляторное русло. Известно, что интенсивные физические нагрузки оказывают выраженное влияние на постоянные параметры внутренней среды организма [2]. Так, активная мышечная работа сопровождается гипертермией и накоплением продуктов метаболизма, в частности молочной кислоты [3], что способно вызывать структурные и физико-химические изменения мембран эритроцитов. Эти модификации отражаются на функциональной активности белковых комплексов и ферментативных систем, а также могут существенно изменять скорость диффузии кислорода через клеточную мембрану [4, 5].

Современные исследования указывают, что транспорт кислорода через мембрану эритроцитов обеспечивается специализированными белковыми структурами, активность которых зависит от особенностей липидного микроокружения [6]. Следовательно, существует прямая взаимосвязь между эффективностью кислородной доставки в ткани и физико-химическими свойствами мембран эритроцитов. Важным аспектом является согласованность липидного состава мембраны и липидного окружения белков, участвующих в контроле переноса кислорода. Ранее нами описано увеличение микрополярности мембран эритроцитов многоборцев высокого уровня спортивной квалификации (кандидаты и мастера спорта) [4], однако остается непонятным являются ли эти изменения универсальной реакцией на физическую нагрузку или присущи только спортсменам высокой спортивной квалификации.

Цель работы – оценить физико-химические свойства мембраны эритроцитов у лиц с регуляр-

ной физической нагрузкой, не имеющих спортивной квалификации в сравнении с лицами без регулярной физической нагрузки

Материал и методы

В основную группу исследования были включены 36 здоровых мужчин в возрасте $28,5 \pm 5$ лет с индексом массы тела (ИМТ) $25,3 \pm 1,8$, находящихся в условиях стандартизированной тренировочной программы и унифицированного режима питания и отдыха. Контрольную группу составили 48 здоровых лиц мужского пола в возрасте $21,5 \pm 2$ лет с ИМТ $22,9 \pm 2,8$, не имеющих хронических заболеваний и не занимающихся регулярной физической активностью. Анализ исследуемых показателей, в зависимости от возрастных категорий, выделенных по классификации В. В. Бунака (1965) – юношеский возраст и первый период зрелости, – не выявил статистически значимых различий. Это позволило объединить испытуемых в единую группу для проведения последующего анализа.

Забор крови осуществляли из локтевой вены утром натощак в вакуумные пробирки с антикоагулянтом ЭДТА. Эритроциты трижды отмывали фосфатно-солевым буфером ($5 \text{ mM NaH}_2\text{PO}_4$, 150 mM NaCl). Выделение мембранных структур эритроцитов проводили по методике Доджа [7], концентрацию белка определяли по методу Лоури [8] с последующей стандартизацией проб по концентрации белка.

Изучение физико-химических свойств мембран эритроцитов выполнялось методом спектрофлуориметрии с применением пирена – полиароматического флуоресцентного зонда, способного интегрироваться в гидрофобные области липидного бислоя. Измерение интенсивности свечения изучалось с помощью спектрофлуориметра SOLAR 2203 (РБ). В мембране пирен существует в форме мономеров или эксимеров (возбужденных димеров), а их соотношение отражает вязкостные характеристики липидной фазы. Коэффициент эксимеризации (КЭ), рассчи-

танный как отношение интенсивности свечения эксимеров к мономерам, обратно пропорционален микровязкости: повышение вязкости ограничивает формирование эксимеров, снижая КЭ, тогда как уменьшение вязкости сопровождается его ростом [9].

Стандартизованные по белку мембраны эритроцитов объемом 2 мл титровались пиреном в концентрации 1, 4, 8 мкмоль/л с последующим снятием спектра флуоресценции при 286 и 337 нм. Интенсивность испускания мономеров и эксимеров пирена определялась в максимумах при 374, 394 и 470 нм [10].

Для статистического анализа данных был использован программный пакет R версии 4.2.2 (2022-10-31 ucrt). Для оценки распределения исследуемых признаков был применен критерий Шапиро-Уилка. В случае, если исследуемые признаки имели гауссовское распределение, для сравнения использовались параметрические методы, в противном случае – непараметрические методы. Парное сравнение проводилось с использованием критерия Стьюдента или критерия Вилкоксона-Манна-Уитни. Для множественного сравнения был применен ANOVA (с применением поправки Уэлча в случае гетерогенности дисперсий исследуемых признаков) или Н-критерий Краскела-Уоллиса. Анализ *post hoc* выполнялся с использованием критерия Тьюки или критерия Н-критерия Краскела-Уоллиса в модификации Данна с применением поправки на множественные сравнения по методу Бенджамина-Иекутиели. Корреляционный анализ выполнялся на основе методов Спирмена. Статистически значимые различия считались при р-значении менее 0,05.

Результаты и обсуждение

В результате проведенного анализа выявлены существенные различия между контрольной и исследуемой группами по биофизическим показателям (табл. 1). Установлено, что уровень трип-

тофанилов, доступных к взаимодействию с пиреном, в исследуемой группе составил $0,98 \pm 0,23$, что статистически значимо превышает аналогичный показатель в контрольной группе ($0,81 \pm 0,27$; $p=0,001$) и свидетельствует о наличии конформационных различий белков, встроенных в мембрану эритроцита людей с регулярной физической активностью [11]. Следует отметить, что в ранних исследованиях у кандидатов и мастеров спорта по многоборью [5] этот показатель был снижен, что может говорить о возможном наличии взаимосвязи между количеством триптофанилов, доступных к взаимодействию с пиреном и интенсивности физических нагрузок. Концентрация битирозинов ($\times 10^4$) в обеих группах оказалась сопоставимой ($287,35 \pm 250,56$ против $269,49 \pm 91,54$), различия статистически недостоверны ($p=0,1441$). При этом уровень конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ ($\times 10^4$) в исследуемой группе был достоверно выше ($378,72 \pm 154,51$) по сравнению с контролем ($140,82 \pm 54,92$; $p=0,001$), что свидетельствует о повышенной перекисной модификации мембран эритроцитов у лиц с высокой физической активностью [12]. Полученный результат частично совпадает с нашими предыдущими исследованиями по преобладанию конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ, однако, в отличие от настоящей работы количество битирозинов было выше у многоборцев [13]. Как и в предыдущем случае, расхождения в полученном результате могут быть обусловлены интенсивностью физической нагрузки. Однако следует подчеркнуть, что динамика изменений совпадает с результатами, полученными в ходе прошлых исследований.

Проведенный анализ микровязкости липидных мембран эритроцитов выявил значимые различия между группой спортсменов и контрольной группой (табл. 2). В частности, при концентрации пирена 1 мкмоль микровязкость аннулярного липидного пула у спортсменов составила $29,27 \pm 6,09$, что достоверно ниже по сравнению с контрольной группой ($37,41 \pm 10,92$;

Таблица 1 – Интенсивность испускания триптофанилов, битирозинов и лизинов

Показатель	Контрольная группа	Исследуемая группа
Триптофанилы	$0,81 \pm 0,27$	$0,98 \pm 0,23$
р-значение	0,001	
Битирозины ($\times 10^4$)	$287,35 \pm 250,56$	$269,49 \pm 91,54$
р-значение	0,1441	
конъюгаты лизина с продуктами ПОЛ ($\times 10^4$)	$140,82 \pm 54,92$	$378,72 \pm 154,51$
р-значение	0,001	

Таблица 2 – Микровязкость аннулярного (МВА) и общего липидных пулов (МВО) при различных концентрациях пирена

	МВА 1, мкмоль	МВА 4, мкмоль	МВА 8, мкмоль
Исследуемая группа	29,27±6,09	27,64±5,33	20,43±5,37
Контрольная группа	37,41±10,92	32,17±12,66	19,74±7,27
p-значение	0,001	0,3032	0,1186
	МВО 1, мкмоль	МВО 4, мкмоль	МВО 8, мкмоль
Исследуемая группа	11,76±4,82	12,45±2,52	10,95±1,81
Контрольная группа	16,26±6,93	14,28±2,80	19,75±42,81
p-значение	0,001	0,001	0,5361

p=0,001). При увеличении концентрации пирена до 4 и 8 мкмоль различия между группами становились статистически незначимыми (p=0,3032 p=0,1186 соответственно). Следует отметить, что в наших предыдущих исследованиях микровязкость аннулярного липидного пула была меньше у многоборцев при всех концентрациях пирена, что, как ранее было сказано, может быть обусловлено интенсивностью физических нагрузок.

Показатели общего липидного пула продемонстрировали аналогичную тенденцию: при концентрациях пирена 1 и 4 мкмоль значения у спортсменов (11,76±4,82 и 12,45±2,52 соответственно) были статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой (16,26±6,93 и 14,28±2,80; p=0,001 для обеих концентраций). При концентрации 8 мкмоль статистически достоверных различий между группами не наблюдалось (p=0,5361).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о снижении микровязкости липидного бислоя мембран эритроцитов в аннулярном и общем липидных пулах у лиц с регулярной физической нагрузкой по сравнению с контрольной группой при низких концентрациях пирена. Эти изменения, вероятно, отражают адаптационные перестройки мембранных структур в ответ на регулярные физические нагрузки и зависят от их интенсивности. Снижение микровязкости может

способствовать повышению пластичности мембран и улучшению функциональных свойств эритроцитов [14] и, учитывая однонаправленность с результатами, полученными в наших предыдущих исследованиях, является универсальным механизмом адаптации к физической нагрузке, что имеет ключевое значение для обеспечения кислородного обмена в условиях высокой физической активности.

Проведенный анализ микрополярности липидных пулов мембран эритроцитов показал наличие достоверных различий между группой спортсменов и контрольной группой (табл. 3). Установлено, что значения микрополярности аннулярного липидного пула у спортсменов при всех исследованных концентрациях пирена были статистически значимо выше по сравнению с контролем: при концентрации 1 мкмоль показатель составил 2,63±2,97 против 1,95±0,24 (p=0,001), при 4 мкмоль – 1,93±0,29 против 1,70±0,26 (p=0,001), при 8 мкмоль – 1,78±0,28 против 1,55±0,23 (p=0,001). Схожие результаты наблюдались и в показателях микрополярности общего липидного пула: значения у спортсменов статистически значимо превышали контрольные при всех концентрациях пирена. Так, при концентрации 1 мкмоль микрополярность составила 1,15±0,08 против 1,11±0,08 в контрольной группе (p=0,009); при 4 мкмоль – 1,17±0,09 против 1,12±0,07 (p=0,0048); при 8

Таблица 3 – Микрополярность аннулярного (МПА) и общего липидных пулов (МПО) при различных концентрациях пирена

	МПА 1, мкмоль	МПА 4, мкмоль	МПА 8, мкмоль
Исследуемая группа	2,63±2,97	1,93±0,29	1,78±0,28
Контрольная группа	1,95±0,24	1,70±0,26	1,55±0,23
p-значение	0,001	0,001	0,001
	МПО 1, мкмоль	МПО 4, мкмоль	МПО 8, мкмоль
Исследуемая группа	1,15±0,08	1,17±0,09	1,17±0,09
Контрольная группа	1,11±0,08	1,12±0,07	1,11±0,07
p-значение	0,009	0,0048	0,001

Таблица 4 – Корреляционная взаимосвязь между микровязкостью и микрополярностью общего пула липидов при различных концентрациях пирена у лиц с регулярной физической нагрузкой

Концентрация пирена, мкмоль/л	rho (Спирмена)	p-значение
1	-0,437	0,0053
4	-0,66	0,001
8	-0,454	0,0037

мкмоль – $1,17 \pm 0,09$ против $1,11 \pm 0,07$ ($p=0,001$). Следует отметить, что полученный результат полностью соответствует полученному ранее, что позволяет сделать вывод об универсальности реакции мембран на физическую нагрузку.

Проведение корреляционного анализа показало (табл. 4), что микровязкость общего липидного пула (МВО) имела статистически значимую ($p<0,05$) обратную корреляционную связь с микрополярностью у лиц с регулярной физической нагрузкой. Подобная зависимость отсутствовала у лиц, не имеющих регулярных физических нагрузок.

Полученный результат свидетельствует о регуляции микровязкости мембран эритроцитов увеличением их перекисной модификации. Поскольку микровязкость мембран эритроцитов ассоциирована с их деформируемостью [15] можно заключить, что перекисная модификация мембран эритроцитов является адаптационной реакцией на физическую нагрузку и обеспечивает снижение микровязкости, рост деформируемости и увеличение способности проникновения эритроцитов в микроциркуляторное русло. Полученные результаты объясняют механизм описанного в литературе отсутствия эффекта от приема антиоксидантов на работоспособность у спортсменов, а также позволяют считать, что изменения микровязкости и микрополярности является универсальной реакцией организма на увеличение физической активности [16, 17].

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. У лиц с регулярной физической нагрузкой повышается уровень триптофанилов и конъюгатов лизина с продуктами перекисного окисления липидов (Лиз-ПОЛ) по сравнению с контрольной группой.

2. Регулярные физические нагрузки снижают микровязкость аннулярного и общего липидных пулов мембран эритроцитов и зависят от актив-

ности физической нагрузки, а также увеличивают микрополярность общего и аннулярного липидных пулов.

3. У лиц с повышенной физической активностью микровязкость мембран эритроцитов находится в обратной корреляционной зависимости от микрополярности.

4. Изменение микровязкости и микрополярности является адаптивной реакцией мембран эритроцитов на увеличение физической активности.

Литература

- Liadov, D. A. The impact of pathological factors on the structure and function of erythrocyte membranes: from the molecular level to clinical consequences / D. A. Liadov // The journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine. 2025. Vol. 33, № 3. P. 438–468. DOI: 10.26565/2313-6693-2025-54-11
- Eccentric Cycling Training Improves Erythrocyte Antioxidant and Oxygen Releasing Capacity Associated with Enhanced Anaerobic Glycolysis and Intracellular Acidosis / Y. C. Huang, M. L. Cheng, H. Y. Tang [et al.] // Antioxidants (Basel). 2021 Feb. Vol. 10, № 2. P. 285–287. DOI: 10.3390/antiox10020285
- Passive Heat Stimuli as a Systemic Training in Elite Endurance Athletes: A New Strategy to Promote Greater Metabolic Flexibility / S. Cinca-Morros, M. Burtscher, F. Benito-Lopez, J. Álvarez-Herms // Journal of functional morphology and kinesiology. 2025 Jun. Vol. 10, № 2. P. 220. DOI: 10.3390/jfmk10020220
- Осочук, С. С. Физико-химические свойства и состав мембран эритроцитов спортсменов различной квалификации / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. 2013. № 4. С. 65–70.
- Осочук, С. С. Физико-химические свойства мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2013. Т. 12, № 3. С. 25–31.
- Role of Membrane Lipids in the Regulation of Erythrocytic Oxygen-Transport Function in Cardiovascular Diseases / V. V. Revin, N. V. Gromova, E. S. Revina [et al.] // BioMed research international. 2016. Vol. 2016. Art. 3429604. DOI: 10.1155/2016/3429604
- Dodge, J. The preparation and chemical characteristics of hemoglobin free ghosts of erythrocytes / J. Dodge, C. Mithcell, D. Hanahan // Archives of biochemistry and biophysics. 1963 Jan. Vol. 100. P. 119–130. DOI: 10.1016/0003-9861(63)90042-0
- Protein measurement with the folin phenol reagent / O.

- H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr, R. J. Randall // The Journal of biological chemistry. 1951 Nov. Vol. 193. P. 265–275.
9. Мельников, Г. В. Влияние полярности микроокружения пирена на интенсивность его твердофазной люминесценции при комнатной температуре / Г. В. Мельников, Т. И. Губина, О. А. Дячук // Журнал физической химии. 2006. Т. 80, № 7. С. 1319–1323.
 10. Correlation between erythrocytes deformability and size: A study using a microchannel based cell analyzer / A. Bransky, N. Korin, Y. Nemirovski, U. Dinnar // Microvascular research. 2007 Jan. Vol. 73, № 1. P. 7–13. DOI: 10.1016/j.mvr.2006.09.001
 11. Структурное состояние мембранных белков эритроцитов человека при взаимодействии с лигандами β 1-адренорецепторов – добутамином и атенололом / В. В. Жиринов, С. В. Хижняк, В. М. Войццкий, Е. А. Лапоша // Доповіді Національної академії наук України. 2008. № 11. С. 176–181.
 12. Тиньков, А. А. Пероксидное повреждение белков и липидов сыворотки крови, индуцированное солями железа и меди питьевой воды / А. А. Тиньков, М. Н. Рогачева, А. А. Никоноров // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 6. С. 191–194.
 13. Осочук, С. С. Окислительная модификация белков и липидов мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Вестник БГУ. Серия 2. 2015. № 2. С. 47–51.
 14. Caimi, G. Red Blood Cell Distribution Width, Erythrocyte Indices, and Elongation Index at Baseline in a Group of Trained Subjects / G. Caimi, M. Carlisi, R. Lo Presti // Journal of clinical medicine. 2023 Dec. Vol. 13, № 1. P. 151. DOI: 10.3390/jcm13010151
 15. Berezniakova, A. I. Deformability of the erythrocytes membrane in rats of different age in hypoxia / A. I. Berezniakova, O. D. Zhemela // Fiziolohichnyi zhurnal. 2013. Vol. 59. P. 72–77.
 16. Vitamin C and E supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans / D. Morrison, J. Hughes, P. A. Della Gatta [et al.] // Free radical biology and medicine. 2015 Dec. Vol. 89. P. 852–862. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2015.10.412
 17. Пыко, К. В. Влияние регулярной физической нагрузки на дзета-потенциал и белково-углеводное строение мембраны эритроцитов человека / К. В. Пыко, С. С. Осочук // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2023. Т. 22, № 6. С. 18–24. DOI: 10.22263/2312-4156.2023.6.18

Поступила 06.11.2025 г.

Принята в печать 16.02.2026 г.

References

1. Liadov DA. The impact of pathological factors on the structure and function of erythrocyte membranes: from the molecular level to clinical consequences. The Journal of VN Karazin Kharkiv National University Series Medicine. 2025;33(3):438-468. doi: 10.26565/2313-6693-2025-54-11
2. Huang YC, Cheng ML, Tang HY, Huang CY, Chen KM, Wang JS. Eccentric Cycling Training Improves Erythrocyte Antioxidant and Oxygen Releasing Capacity Associated with Enhanced Anaerobic Glycolysis and Intracellular Acidosis. Antioxidants (Basel). 2021 Feb;10(2):285. doi: 10.3390/antiox10020285
3. Cinca-Morros S, Burtcher M, Benito-Lopez F, Álvarez-Herms J. Passive Heat Stimuli as a Systemic Training in Elite Endurance Athletes: A New Strategy to Promote Greater Metabolic Flexibility. Journal of Functional Morphology and Kinesiology. 2025 Jun;10(2):220. doi: 10.3390/jfmk10020220
4. Osочук SS, Martsinkevich AF. Physico-chemical properties and composition of erythrocyte membranes of athletes of different qualifications. Laboratornaya Diagnostika Vostochnaya Evropa. 2013;(4):65-70. (In Russ.).
5. Osочук SS, Martsinkevich AF. Physico-chemical properties of erythrocyte membranes of cyclic sports athletes. Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Meditsinskogo Universiteta. 2013;12(3):25-31. (In Russ.).
6. Revin VV, Gromova NV, Revina ES, Martynova MI, Seikina AI, Revina NV, et al. Role of Membrane Lipids in the Regulation of Erythrocytic Oxygen-Transport Function in Cardiovascular Diseases. BioMed Research International. 2016;2016:3429604. doi: 10.1155/2016/3429604
7. Dodge J, Mithcell C, Hanahan D. The preparation and chemical characteristics of hemoglobin free ghosts of erythrocytes. Archives of Biochemistry and Biophysics. 1963 Jan;100:119-30. doi: 10.1016/0003-9861(63)90042-0
8. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the folin phenol reagent. The Journal of Biological Chemistry. 1951 Nov;193(1):265-275.
9. Melnikov GV, Gubina TI, Dyachuk OA. Influence of the polarity of the microenvironment on the intensity of its solid-phase luminescence at room temperature. Zhurnal Fizicheskoi Khimii. 2006;80(7):1319-1323. (In Russ.).
10. Bransky A, Korin N, Nemirovski Y, Dinnar U. Correlation between erythrocytes deformability and size: A study using a microchannel based cell analyzer. Microvascular Research. 2007 Jan;73(1):7-13. doi: 10.1016/j.mvr.2006.09.001
11. Zhirnov VV, Khizhnyak SV, Voytsitskiy VM, Laposha EA. Structural state of human erythrocyte membrane proteins in interaction with β 1-adrenoreceptors - dobutamine and atenolol. Dopovidi Natsional'noї Akademii Nauk Ukraini. 2008;(11):176-181. (In Russ.).
12. Tinkov AA, Rogacheva MN, Nikonorov AA. Peroxide damage to blood serum proteins and lipids induced by iron salts and copper drinking water. Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2012;(6):191-194. (In Russ.).
13. Osочук SS, Martsinkevich AF. Oxidative modification of proteins and lipids membrane erythrocytes of cyclic sports athletes. Vestnik BGU Seriya 2. 2015;(2):47-51. (In Russ.).
14. Caimi G, Carlisi M, Lo Presti R. Red Blood Cell Distribution Width, Erythrocyte Indices, and Elongation Index at Baseline in a Group of Trained Subjects. Journal of Clinical Medicine. 2023 Dec;13(1):151. doi: 10.3390/jcm13010151
15. Berezniakova AI, Zhemela OD. Deformability of the erythrocytes membrane in rats of different age in hypoxia. Fiziolohichnyi Zhurnal. 2013;59:72-77.
16. Morrison D, Hughes J, Della Gatta PA, Mason S, Lamon S, Russell AP, et al. Vitamin C and E supplementation prevents some of the cellular adaptations to endurance-training in humans. Free Radical Biology and Medicine. 2015 Dec;89:852-862. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2015.10.412
17. Pyko KV, Osочук SS. Influence of regular physical

exertion on the zeta-potential and protein-carbohydrate structure of human erythrocyte membranes. Vestnik Vitebskogo Gosudarstvennogo Medicinskogo Universiteta.

2023;22(6):18-24. (In Russ.). doi: 10.22263/2312-4156.2023.6.18

Submitted 06.11.2025

Accepted 16.02.2026

Сведения об авторах:

Пыко Кирилл Владимирович – ассистент кафедры общей и клинической биохимии с курсом ФПК и ПК, УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», e-mail: pykokiril@gmail.com;

С.С. Осочук – д.м.н. профессор, заведующий научно-исследовательской лабораторией, УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет».

Information about authors:

Kirill V. Pyko – postgraduate of the Chair of General & Clinical Biochemistry with the course of the Faculty for Advanced Training & Retraining, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, e-mail: pykokiril@gmail.com;

S.S. Osochuk – Doctor of Medical Sciences, professor, head of the research laboratory, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University.