



Міністерство освіти і науки України  
The Ministry of Education and Science of Ukraine

EASTERN UKRAINIAN  
MEDICAL JOURNAL

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ  
МЕДИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Том 10 № 3' 2022  
Vol. 10 Iss. 3' 2022

Заснований у 1994 році  
Founded in 1994

Суми, Сумський державний університет  
Sumy, Sumy State University

Журнал публікує статті, які розглядають актуальні питання клінічних та експериментальних медичних досліджень, випадки з медичної практики та огляд літератури, підготовлені професорсько-викладацьким складом, аспірантами, здобувачами університету та інших ВНЗ, а також вченими та спеціалістами інших наукових установ України та за її межами.

Для викладачів ВНЗ, наукових працівників, аспірантів.

Рекомендовано до друку вченою  
радою Сумського державного  
університету протокол № 2 від  
08.09.2022 р.

Адреса редакційної колегії:

вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми,  
Україна 40007

The address of the editorial board:

2 R.-Korsakova St., Sumy 40007  
Ukraine

Tel. (0542) 662-318  
e-mail: [eumj@med.sumdu.edu.ua](mailto:eumj@med.sumdu.edu.ua)  
<http://eumj.med.sumdu.edu.ua>

Свідоцтво про реєстрацію  
КВ № 19908-9708 ПР від 04.03.2013 р.

Президією ВАК України (наказ № 455  
від 15 квітня 2014 р.) журнал зареєстровано  
як наукове видання з медичних наук

**Лариса Гуніна, Юрій Атаман, Ігор  
Бєленічев, Роман Головашченко, Валентина  
Войтенко, Вікторія Безугла**

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ВПЛИВУ  
ЗАСОБУ НА ОСНОВІ БУРШТИНОВОЇ  
КИСЛОТИ НА ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ  
ЕРИТРОЦИТАРНОЇ ЛАНКИ ТРАНСПОРТУ  
КИСНЮ ЗА АЕРОБНИХ ФІЗИЧНИХ  
НАВАНТАЖЕНЬ

**Іван Грек, Марина Кочусва, Валентина  
Псарьова, Геннадій Кочуєв, Антон Рогожин**

ВПЛИВ АНТИОКСИДАНТНОЇ ТЕРАПІЇ НА  
ДИНАМІКУ КЛІНІЧНИХ ТА  
ЛАБОРАТОРНИХ ПОКАЗНИКІВ У  
ХВОРИХ НА ТУБЕРКУЛЬОЗ ЛЕГЕНЬ,  
ВЖИВАЮЧИХ АЛКОГОЛЬ

247

**Larisa Gunina, Yurii Ataman, Ihor  
Belenichev, Roman Golovashchenko,  
Valentina Voitenko, Victoria Bezugla**

DETERMINATION OF THE INFLUENCE  
MECHANISMS OF SUCCINIC ACID-BASED  
DRUG ON IMPROVING THE STATE OF  
ERYTHROCYTE LINK OF OXYGEN  
TRANSPORT DURING AEROBIC  
PHYSICAL LOADS

259

**Ivan Hrek, Maryna Kochuieva, Valentyna  
Pсарova, Hennady Kochuiev, Anton Rohozhyn**

THE EFFECT OF ANTIOXIDANT THERAPY  
ON THE CHANGES OF CLINICAL AND  
LABORATORY PARAMETERS IN ALCOHOL  
DRINKERS WITH PULMONARY  
TUBERCULOSIS

#### **ТЕОРЕТИЧНА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА МЕДИЦИНА**

#### **THEORETICAL & EXPERIMENTAL MEDICINE**

**Софія Фролова, Олена Гордієнко, Ольга  
Ярмоленко**

ВПЛИВ АЛЛОКСАНОВОЇ ГІПЕРГЛІКЕМІЇ  
НА КІРКОВУ РЕЧОВИНУ НИРКИ

**Катерина Сікора**

МОРФОМЕТРИЧНІ ЗМІНИ ТОВЩИНИ  
МАТКИ ЩУРІВ ПІСЛЯ 30 ДНІВ ВПЛИВУ  
СОЛЕЙ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

**Наталія Іншина, Інна Чорна, Людмила  
Гребеник, Людмила Прімова**

ВПЛИВ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА  
МЕНТАЛЬНЕ ЗДОРОВ'Я СТУДЕНТІВ-  
МЕДИКІВ: ГЕНДЕРНІ АСПЕКТИ

**Вікторія Мішура, Юрій Мєлєховець**

ОСОБЛИВОСТІ ТРОМБОФЛЕБІТУ ПРИ  
ВЕЛИКОМУ ДІАМЕТРІ ВЕЛИКОЇ  
ПІДШКІРНОЇ ВЕНИ

268

**Sofia Frolova, Olena Gordienko, Olha  
Yarmolenko**

THE EFFECT OF ALLOXAN-INDUCED  
HYPERGLYCEMIA ON THE RENAL  
CORTEX

274

**Kateryna Sikora**

MORPHOMETRICAL CHANGES IN THE  
RATS UTERUS THICKNESS AFTER 30  
DAYS OF HEAVY METAL SALTS  
EXPOSURE

283

**Nataliia Inshyna, Inna Chorna, Liudmyla  
Hrebenyk, Liudmyla Primova**

THE IMPACT OF THE COVID-19  
PANDEMIC ON MENTAL HEALTH OF  
MEDICAL STUDENTS: GENDER ASPECTS

292

**Viktoriia Mishura, Yurii Melekhovets**

FEATURES OF SUPERFICIAL VEIN  
THROMBOSIS IN PATIENTS WITH A  
LARGE DIAMETER OF GREAT  
SAPHENOUS VEIN

© 2022 by the author.

This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## ABSTRACT

DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2022;10\(3\):247-258](https://doi.org/10.21272/eumj.2022;10(3):247-258)

Larisa Gunina<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-2107-0983>

Yurii Ataman<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-6398-1016>

Ihor Belenichev<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1273-5314>

Roman Golovashchenko<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>

Valentina Voitenko<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3911-8116>

Victoria Bezugla<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3368-5494>

<sup>1</sup>*Educational and Scientific Olympic Institute, National Ukraine University of Physical Education and Sports, Kyiv, Ukraine;*

<sup>2</sup>*Department of Physical Therapy, Occupational Therapy, and Sports Medicine of the Medical Institute, Sumy State University, Sumy, Ukraine;*

<sup>3</sup>*Department of Pharmacology and Medical Formulation with a Course of Normal Physiology, Zaporizhzhia Medical University, Zaporizhzhia, Ukraine;*

<sup>4</sup>*Department of Physical Education, Sports, and Health, State Tax University, Irpin, Ukraine*

## DETERMINATION OF THE INFLUENCE MECHANISMS OF SUCCINIC ACID-BASED DRUG ON IMPROVING THE STATE OF ERYTHROCYTE LINK OF OXYGEN TRANSPORT DURING AEROBIC PHYSICAL LOADS

**Introduction.** Strenuous aerobic work inherent to cyclical sports requires adequate oxygenation of the athletes' working muscles. One of the ways to improve the oxygen transport function of blood is to optimize the structural and functional state of erythrocytes, for example, by using succinic acid in the form of the medical drug Armadin Long. This pharmacological drug is widespread in clinical practice for treating hypoxic and ischemic conditions, and very little is known about its use for improving the condition of the erythrocytes in the blood of athletes, which determined the relevance of this study.

The **objective of the study** was to assess the feasibility and effectiveness of using the medical drug Armadine Long to improve the state of the erythrocyte link of the blood oxygen transport system during aerobic exercise.

**Materials and Methods.** A randomized blinded placebo-controlled trial included 40 male middle-distance runners (aerobic discipline of athletics). The subjects were divided into two subgroups matched for number, age, and anthropometric characteristics (strats). In this work, laboratory methods were used, including hematological tests (in particular, hemoglobin and erythrocytes level measurement and erythrocyte characteristics evaluation), as well as biochemical method: the study of prooxidant and antioxidant balance (activity of lipid peroxidation according to changes in the content of malonic dialdehyde and antioxidant protection according to changes in the concentration of reduced glutathione) and functional characteristics of erythrocyte membranes (permeability, sorption capacity, sorption capacity of the glycocalyx) as well as evaluation of the main components of lipid and protein composition of red blood cell membranes. Pedagogical research methods were based on the determination of relative aerobic capacity using the generally accepted PWC170 test.

**Results of the study.** During 21 days of intensive loads, an almost two-fold increase in contents of malonic dialdehyde was observed with a parallel decrease in reduced glutathione content by 23.5 % during aerobic loads. At the same time, there was a deterioration of the

functional characteristics of erythrocytes and a decrease in the relative aerobic capacity in comparison with the baseline data.

The use of the medical drug Armadine Long at a dose of 600 mg per day improved the indicated characteristics of erythrocytes. At the same time, there were positive changes in the protein and lipid state of the erythrocyte membranes, and the athletes' aerobic power increased by 38.7%. It substantiates the high ergogenic ability of succinic acid, which is based on the normalization of the lipoperoxidation process and the improvement of the structural and functional characteristics of erythrocyte membranes.

**Keywords:** aerobic loads, succinic acid, oxygen transport function of blood, erythrocyte membranes, lipid peroxidation.

**Corresponding author:** Larisa Gunina, Educational and Scientific Olympic Institute, National Ukraine University of Physical Education and Sports, Kyiv, Ukraine  
e-mail: [gunina.sport@gmail.com](mailto:gunina.sport@gmail.com)

#### РЕЗЮМЕ

Лариса Гуніна<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-2107-0983>

Юрій Атаман<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-6398-1016>

Ігор Беленічев<sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1273-5314>

Роман Головащенко<sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>

Валентина Войтенко<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3911-8116>

Вікторія Безугла<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-3368-5494>

<sup>1</sup>Навчально-науковий олімпійський інститут, Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна;

<sup>2</sup>Кафедра фізичної терапії, ергоterapiї та спортивної медицини Медичного інституту, Сумський державний університет, м. Суми, Україна;

<sup>3</sup>Кафедра фармакології та медичної рецептури з курсом нормальної фізіології, Запорізький медичний університет, м. Запоріжжя, Україна;

<sup>4</sup>Кафедра фізичного виховання, спорту і здоров'я, Державний податковий університет, м. Ірпінь, Україна

#### ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ВПЛИВУ ЗАСОБУ НА ОСНОВІ БУРШТИНОВОЇ КИСЛОТИ НА ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ ЕРИТРОЦИТАРНОЇ ЛАНКИ ТРАНСПОРТУ КИСНЮ ЗА АЕРОБНИХ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Вступ.** Напружена аеробна робота, що притаманна циклічним видам спорту, потребує адекватного забезпечення киснем працюючих м'язів спортсменів. Одним з шляхів поліпшення кисень-транспортної функції крові є оптимізація структурно-функціонального стану еритроцитів, наприклад, шляхом застосування бурштинової кислоти у вигляді препарату «Армадін лонг». Цей фармакологічний засіб широко розповсюджений в клінічній практиці для лікування гіпоксичних та ішемічних станів, а щодо його застосування для покращення стану еритроцитарної ланки крові у спортсменів відомо дуже мало, що й обумовило актуальність даного дослідження.

Основною метою дослідження було формування оцінки доцільності та ефективності використання препарату «Армадін лонг» для покращення стану еритроцитарної ланки кисень-транспортної системи крові за фізичних навантажень аеробного характеру.

**Матеріали та методи.** У рандомізованому сліпому плацебо-контрольованому дослідженні взяли участь 40 чоловіків, що спеціалізуються у бігу на середні дистанції (аеробна дисципліна легкої атлетики). Учасників дослідження було розподілено на дві рівноцінні за кількістю, віком та антропометричними характеристиками підгрупи (страти). У роботі було використано лабораторні методи, включаючи гематологічні із визначенням вмісту гемоглобіну, еритроцитів та еритроцитарних характеристик, та біохімічні із застосуванням методик вивчення прооксидантно-антиоксидантної рівноваги (активність процесів перекисного окиснення ліпідів за змінами вмісту малонового діальдегіду та антиоксидантний захист за змінами вмісту відновленого глутатіону) й функціональних характеристик мембран еритроцитів (проникність, їхня сорбційна здатність, сорбційна ємність глікокалізу) та оцінки основних складових ліпідного та білкового

складу мембран червоних клітин крові. Педагогічні методи дослідження базувалися на визначенні відносної аеробної потужності із використанням загальноприйнятого тесту PWC<sub>170</sub>.

**Результати дослідження.** У динаміці 21-денних інтенсивних навантажень було встановлено збільшення практично удвічі вмісту малонового діальдегіду з паралельним зниженням на 23,5 % вмісту відновленого глутатіону в мембрані еритроцитів. Паралельно спостерігалось погіршення функціональних характеристик еритроцитів та зниження відносної аеробної потужності спортсменів порівняно з вихідними, до початку дослідження, даними. Застосування препарату «Армадін лонг» у дозуванні 600 мг на добу приводило до покращення вказаних характеристик еритроцитів. Водночас спостерігалися позитивні зрушення щодо білкового та ліпідного стану мембран еритроцитів і на 38,7 % зростала аеробна потужність спортсменів. Це обґрунтовує високу ергогенну здатність бурштинової кислоти, що базується на нормалізації процесу ліпопереокиснення й покращенні структурно-функціональних характеристик мембран еритроцитів.

**Ключові слова:** аеробні навантаження, бурштинова кислота, кисеньтранспортна функція крові, мембрана еритроцитів, перекисне окиснення ліпідів.

**Автор, відповідальний за листування:** Лариса Гуніна, Навчально-науковий олімпійський інститут, Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна  
e-mail: [gunina.sport@gmail.com](mailto:gunina.sport@gmail.com)

**How to cite / Як цитувати статтю:** Gunina L, Ataman Yu, Belenichev I, Golovashchenko R, Voitenko V, Bezugla V. [Determination of the influence mechanisms of succinic acid-based drug on improving the state of erythrocyte link of oxygen transport during aerobic physical loads]. *EUMJ*. 2022;10(3):247-258  
DOI: [https://doi.org/10.21272/eumj.2022;10\(3\):247-258](https://doi.org/10.21272/eumj.2022;10(3):247-258)

## INTRODUCTION / ВСТУП

### Скорочення

ВРО – вільно-радикальне окиснення  
ЕФЗ – ергогенні фармакологічні засоби  
МДА – малоновий діальдегід  
ОС – окисний стрес  
ПАР – прооксидантно-антиоксидантна рівновага  
ПМЕ – проникність мембран еритроцитів  
ПОЛ – перекисне окиснення ліпідів  
СЄГ – сорбційна ємність глікокаліксу  
СЗЕ – сорбційна здатність еритроцитів  
ФЛ – фосфоліпіди  
ХС – холестерин  
GSH – відновлений глутатіон  
MCV – середній об'єм еритроцитів  
MCH – абсолютний середній вміст гемоглобіну в еритроциті  
PWC<sub>170</sub> – аеробна потужність м'язової роботи при ЧСС 170 уд·хв<sup>-1</sup>  
RDW-CD – ступень анізоцитозу еритроцитів

Сучасний рівень підготовки спортсменів вимагає докладання під час тренувань та змагань зусиль, які знаходяться на фізіологічній межі можливостей організму людини, що може досить часто призводити до появи суттєвих порушень в системі гомеостазу, що виникають в умовах напруженої та регулярної роботи м'язів [1, 2]. Регулярні та тривалі фізичні навантаження високої інтенсивності достатньо часто негативно впливають на процеси кровотворення, що відбивається на погіршенні стану еритроцитарної ланки транспорту кисню й, як наслідок, зниженні загальної та спеціальної, в першу чергу, аеробної працездатності. Як свідчать дані літератури, кваліфіковані спортсмени достатньо часто також мають прояви «спортивної анемії» з різноманітним генезом (від залізодефіцитної до метаболічної) [3, 4, 5].

Одним із поширених проявів впливу фізичних навантажень, особливо аеробного характеру, є інтенсифікація процесів перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) [6]. Поряд із окисненням

субстратів у тканинах організму, яке перебігає в мітохондріях, у мембранах клітин постійно відбувається вільнорадикальне окиснення (ВРО) органічних речовин [7]. Активація ВРО ліпідів клітинних мембран, в тому числі, еритроцитарних, може бути показником первинної метаболічної відповіді організму на різноманітні екстремальні чинники [8], зокрема, на інтенсивні фізичні навантаження.

Педагогічні чинники, які регламентують планомірне збільшення напруженості тренувальної роботи, слугують факторами, що відображають успішність тренувального процесу [9, 10], а також результативність у змаганнях і дають змогу керувати цими показниками [11]. У цьому аспекті визначення параметрів загальної та спеціальної працездатності є достатньо інформативним для вирішення питання щодо доцільності та ефективності використання позатренувальних ергогенних засобів, а саме ергогенних фармакологічних засобів (ЕФЗ) [12], у тому числі, з антиоксидантною спрямованістю дії [13].

Застосування засобів на основі бурштинової кислоти, що є одним з субстратів циклу Кребса, позитивно впливає на працездатність спортсменів, здійснює виражену антиоксидантну дію, а також володіє багатограним впливом на різні боки обміну речовин, що є цілком обґрунтованим та ефективним методом зростання працездатності кваліфікованих спортсменів [14, 15]. Проте вплив на аеробну фізичну працездатність, яка значною мірою реалізується через інтенсивність транспорту кисню еритроцитами, вивчений на сьогодні недостатньо.

Цей факт привертає на себе увагу тому, що доставка кисню до працюючих м'язів спортсмена є у числі тих основних факторів, які обмежує фізичну працездатність і витривалість. Оскільки іншого транспортного шляху, крім використання молекули гемоглобіну як переносника кисню, в організмі не існує [16], зниження вмісту цього білка у спортсменів є дуже важливим чинником, що впливає на погіршення показників фізичної працездатності [17].

Складний комплекс біохімічних взаємодій складових плазматичної мембрани, що змінюються під впливом інтенсивного фізичного навантаження, приводить до того, що в крові істотно збільшується кількість еритроцитів великого об'єму, концентрація гемоглобіну в яких нижче норми. Поява маленьких, зморщених еритроцитів теж приводить до зниження вмісту фізі-

ологічно активного гемоглобіну в еритроциті, оскільки супроводжується деформацією його молекули і здатності зв'язувати кисень [18]. В останні роки доведено, що порушення стану мембрани за окисного стресу (ОС) будь-якого генезу [19], зокрема і при фізичних навантаженнях, неминуче спричиняє порушення четвертинної структури молекули гемоглобіну, і, послідовно, розвиток метаболічної анемії [20], що послідовно призведе до змін кисень-транспортної функції крові та зниження загальної та спеціальної (аеробної) фізичної працездатності.

Тому логічно припустити, що застосування препаратів на основі бурштинової кислоти, які мають позитивний вплив на структуру мембрани червоних клітин крові, є патогенетично обґрунтованим шляхом покращення переносу кисню до працюючих м'язів спортсмена.

**Мета дослідження** – оцінити доцільність та ефективність використання препарату «Арматін лонг» для покращення стану еритроцитарної ланки кисень-транспортної системи крові за фізичних навантажень аеробного характеру.

#### **Матеріали та методи**

Дослідження було проведено у представників легкої атлетики (циклічний вид спорту з переважно аеробним механізмом енергозабезпечення м'язової діяльності) і було спрямовано на визначення механізмів реалізації ергогенних властивостей бурштинової кислоти. Для цього застосовували препарат «Арматін лонг» (300 мг; хімічна структура діючої речовини – 2-етил-6-метил-3-гідроксипіридину сукцинат; виробник ООО «Мікрохім», Україна).

У дослідженні взяли участь 40 чоловіків – бігунів на середні дистанції віком від 19 до 25 років ( $22,3 \pm 3,8$  роки), що мали спортивну кваліфікацію «І розряд» і «кандидат у майстри спорту України – КМСУ», рандомізованих на дві репрезентативні за кількістю, антропометричними характеристиками, віком та кваліфікацією підгрупи. Рандомізація учасників дослідження відповідала обов'язковим умовам, прийнятим у спортивній фармакології: для проведення досліджень у практиці спортивної підготовки кількість обстежуваних має складати не менше шести осіб у кожній підгрупі; стать – чоловіча; рівень кваліфікації – не нижчий за І розряд; контрольна підгрупа за складом має бути ідентична дослідній; проведення досліджень здійснено у ході уніфікованого тренувального процесу [21]. Учасники основної підгрупи (20 осіб), крім за-



гальноприйнятого фармакологічного забезпечення (пластичні та енергетичні субстрати, вітамінні препарати, адаптогени, імуномодулятори), отримували додатково «Армадін лонг» по 3 капсули на добу протягом 21-денного періоду підготовки, а спортсмени контрольної підгрупи (20 осіб) – замість препарату «Армадін лонг» застосовували плацебо (капсула з крохмалем). Хоча в інструкції виробника зазначено, що добова доза препарату «Армадін лонг» дорівнює 600 мг, проте, відомо про можливість безпечно збільшувати дозування метаболітотропних засобів у спорті терміном на 3–4 тижні [22]. Саме з цього ми виходили при використанні більшого, ніж звичайно, добового дозування препарату.

Дослідження виконували відповідно до Конвенції Ради Європи «Про захист прав людини та людської гідності у зв'язку із застосуванням досягнень біології та медицини: Конвенція про права людини та біомедичні (ETS № 164)» від 04.04.1997 р. та Положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (2008). З учасниками випробувань ЕФЗ було підписано «Інформовану згоду», в якій спортсмени підтверджували свою добровільну згоду на участь у дослідженні після ознайомлення з усіма його особливостями, які можуть вплинути на їх рішення (Постанова МОЗ України «Про затвердження документів з питань стандартизації, реєстрації та проведення клінічних випробувань лікарських засобів» 42-7.0: 2005, п.3.3 від 22.07.2005 р. № 373). «Інформована згода» передбачала також гарантію організаторів дослідження, що даний ЕФЗ не належить до переліку заборонених WADA субстанцій.

Динамічні обстеження спортсменів, включаючи лабораторну діагностику, проводили протягом до початку і по закінченні прийому ЕФЗ. Комплекс лабораторних досліджень під час оцінки впливу препарату «Армадін лонг» на еритроцитарну ланку транспорту кисню та аеробну працездатність включав гематологічний аналіз із визначенням еритроцитарних характеристик (вміст еритроцитів, гемоглобіну, середнього об'єму еритроцитів – MCV, абсолютного середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті – MCH, ступеня анізоцитозу еритроцитів – RDW-CD), а також біохімічні дослідження прооксидантно-антиоксидантної рівноваги та структурно-функціонального стану, ліпідного та білкового складу на мембранному рівні (на моделі «тіней» еритроцитів).

Матеріал для досліджень у спортсменів отримували зі зразків периферичної венозної крові, взятої ранком натщесерце у стані спокою без попереднього фізичного навантаження. Для досліджень застосовували суспензію тіней еритроцитів, які отримували за методом [23]. Оцінку ПАР безпосередньо у мембранах проводили за змінами активності перекисного окислення ліпідів та ступеня антиоксидантного захисту. Визначення активності ліпопереокиснення у мембрані еритроцитів проводили шляхом дослідження вмісту одного з тіобарбітурат-активних продуктів – малонового діальдегіду (МДА) із спектрофотометричним визначенням різниці поглинання при довжинах хвиль 532 і 580 нм [24]. Антиоксидантну активність досліджували за змінами вмісту відновленого глутатіону (GSH) після інкубації еритроцитарної суспензії з реактивом Еллмана при вимірюванні оптичної густини утвореного продукту реакції (тіонітрофенільні аніони) при довжині хвилі 412 нм [25].

Функціональні властивості мембран еритроцитів характеризували за змінами їх сорбційної здатності (СЗЕ), яку визначали по інтенсивності сорбції вітального барвника метиленового синього при довжині хвилі 630 нм, проникності мембран (ПМЕ) за ступенем сечовинного гідролізу еритроцитів, сорбційної ємності глікокаліксу (СЄГ) для альціанового синього («Loba Chemie», Австрія), який є катіонним барвником фталоціанінової підгрупи та має здатність зв'язуватися з гліколіпідами, глікопротеїдами та кислими мукополісахаридами у кількості, що пропорційна вмісту білків і вуглеводів у глікокаліксі, відображаючи ступінь його в'язкості [26, 27]. Крім того, в мембранах визначали вміст вільного холестеролу (ХС) за методом, який ґрунтується на реакції кольорового реактиву з цим ліпідом, та наступним вимірюванням оптичної густини при довжині хвилі 560 нм [28] і фосфоліпідний склад (ФЛ) мембран еритроцитів після спалювання хлороформного шару мембран і наступного визначення на спектрофотометрі при довжині хвилі 820 нм вмісту накопиченого фосфору (в мікрограмах на 1 г еритроцитарної суспензії) [29]. Склад білків мембран, застосовуючи для класифікації білкових фракцій номенклатуру G. Fairbanks, вивчали за методом електрофорезу в поліакриламідному гелі за U. Laemmli, як описано в роботі [30]. Загальний вміст білка в мембрані визначали за методом Лоури.

Педагогічні дослідження щодо визначення впливу препарату на основі бурштинової кислоти на показники фізичної працездатності спортсменів за тестом PWC<sub>170</sub> було проведено завідувачем кафедри фізичного виховання, спорту і здоров'я кандидатом наук з фізичного виховання і спорту доцентом Р. В. Головащенко. Показник PWC<sub>170</sub>, який переважно характеризує аеробну фізичну працездатність з максимальним споживанням кисню, досліджували методом велоергометрії із використанням загальноєвропейського тест для оцінки фізичного стану спортсменів [31]. Для проведення тесту PWC<sub>170</sub> застосовували велоергометр "Kettler E-3" («KETTLER», Німеччина). З метою уніфікації даних проводили розрахунок відносної аеробної потужності ( $\delta$ PWC<sub>170</sub>), виходячи з маси тіла спортсменів.

Отримані дані обробляли за загальноприйнятими методами математичної статистики. Розрахунки проводили із використанням комп'ютерних інтегрованих статистичних та графічних пакетів Microsoft Excel XP та ліцензійної програми GraphPadInStat (*GraphPad*

*Software*, USA). Під час обробки отриманих даних вираховували: середнє арифметичне значення  $M$ , середнє квадратичне відхилення  $S$  (стандартне відхилення). Оцінку відповідності показників нормальному закону розподілу перевіряли за допомогою критерію Шапіро-Уїлкі. Для визначення статистичної значущості різниці між показниками вибірок використовувався критерій Стюдента ( $t$ ), коли розподіл вибірок відповідав нормальному закону розподілу, та непараметричні критерії Вілкоксона та Манна-Вітні – коли не відповідав розподілу Гауса. Задавався рівень надійності  $P = 95\%$  ( $p = 0,05$ ). Обрахування коефіцієнтів кореляції ( $r$ ) проводили за допомогою прикладного пакету програм «Excel 97».

#### Результати досліджень та обговорення

Результати наших досліджень свідчать, що використання протягом 21-денного мезоциклу «Армادіну лонг» у динаміці навантажень приводить до змін вмісту еритроцитів, гемоглобіну, значень еритроцитарних індексів та біохімічних показників, що відображають стан клітинних мембран еритроцитів (табл. 1).

Таблиця 1 – Зміни показників фізичної працездатності та еритроцитарних характеристик під впливом «Армадіну лонг» у динаміці фізичних навантажень

Показники	Підгрупи спортсменів та етап дослідження		
	усі спортсмени разом до початку досліджень (n = 40)	по закінченні дослідження	
		I плацебо-контрольна (n = 20)	II основна (n = 20)
значення показників (M ± S)			
Відносна аеробна потужність ( $\delta$ PWC <sub>170</sub> ), Вт·кг <sup>-1</sup>	18,21 ± 0,16	16,44 ± 0,19*	22,18 ± 0,24*
Кількість еритроцитів, 10 <sup>12</sup> ·л <sup>-1</sup>	4,21 ± 0,24	4,76 ± 0,12*	5,21 ± 0,22 <sup>#</sup>
Гемоглобін, г·л <sup>-1</sup>	134,6 ± 7,8	146,8 ± 4,5	157,7 ± 2,5 <sup>#</sup>
Середній об'єм еритроцитів, фл	80,2 ± 1,1	87,3 ± 1,4*	82,7 ± 1,5 <sup>#</sup>
Абсолютний вміст гемоглобіну в еритроциті (MCHC), пг	28,6 ± 1,3	31,4 ± 1,6	34,2 ± 0,5 <sup>#</sup>
Анізоцитоз (CD-RW), %	13,2 ± 2,5	16,8 ± 2,5*	14,6 ± 1,5 <sup>#</sup>
МДА, нмоль·10 <sup>6</sup> ер.	3,67 ± 0,10	7,56 ± 0,45*	4,95 ± 0,42 <sup>#</sup>
GSH, 10 <sup>12</sup> ммоль·ер. <sup>-1</sup>	2,39 ± 0,08	1,83 ± 0,11*	2,51 ± 0,14 <sup>#</sup>
СЗЕ, %	19,8 ± 2,1	33,4 ± 2,3*	26,8 ± 1,6 <sup>#</sup>
ПМЕ, ум. од.	11,6 ± 2,8	19,23 ± 1,96*	13,12 ± 0,14 <sup>#</sup>
СЄГ, 10 <sup>-12</sup> г·ер <sup>-1</sup>	3,21 ± 0,12	5,06 ± 0,32*	4,22 ± 0,46 <sup>#</sup>

Примітки: \* – статистично достовірно ( $P < 0,05$ ) порівняно з даними у спортсменів до початку дослідження; <sup>#</sup> – статистично достовірно ( $P < 0,05$ ) порівняно з даними у контрольній підгрупі

Було встановлено, що вплив тренувального процесу аеробної спрямованості в контрольній підгрупі хоча й приводить до збільшення вмісту еритроцитів і помітної тенденції до зростання рівня гемоглобіну, проте водночас відбувається накопичення продуктів ПОЛ у вигляді МДА зі зниженням вмісту основного неферментативного антиоксиданту мембран GSH. Це супроводжується погіршенням структурно-функціонального стану еритроцитарних мембран та негативно відбивається на їх агрегаційних здатностях (СЗЕ зростає майже удвічі), що є чинником зниження швидкості кровообігу в кровоносних судинах. Слід зазначити, що інтенсивні фізичні навантаження у спортсменів контрольної підгрупи призводять до достовірного зростання показника анізоцитозу на 27,3 % проти вихідних даних, що обумовлено змінами розміру еритроцитів за порушення ПАР в мембранах еритроцитів [32]. В основній підгрупі зростання цього показника становить лише 13,1 % порівняно з даними плацебо-контролю, і це полегшує просування ерит-

роцитів по мілким кровоносним судинам [33, 34]. Застосування «Армадін лонг» в основній підгрупі спортсменів не тільки спричиняє опосередкований позитивний вплив на еритропоез, але й покращує структурно-функціональний стан клітинних мембран еритроцитів, що обумовлено наявністю у ЕФЗ антиоксидантних та мембранопротекторних властивостей. Це супроводжується зростанням аеробної складової фізичної працездатності, що відображає достовірне збільшення відносної аеробної потужності  $PWC_{170}$  на 38,7 % у спортсменів основної підгрупи порівняно з даними плацебо-контролю і навіть на 21,8 % перевищує вихідні, до початку дослідження, дані. Для уточнення механізму цього явища було проведено визначення рівню ХС та сумарного вмісту ФЛ, яке показало, що в контрольній підгрупі збільшується вміст ХС при одночасному зниженні загального вмісту ФЛ (абсолютного та відносного) в мембрані еритроцитів (табл. 2).

Таблиця 2 – Зміни вмісту вільного холестеролу і фосфоліпідів та їх співвідношення у мембранах еритроцитів спортсменів під впливом препарату «Армадін лонг»

Показники	Підгрупи спортсменів та етап дослідження		
	усі спортсмени разом до початку досліджень (n = 40)	по закінченні мезоциклу	
		I плацебо-контрольна (n = 20)	II основна (n = 20)
значення показників (M ± S)			
ХС, мкмоль·мг <sup>-1</sup> білка	0,40 ± 0,04	0,66 ± 0,03*	0,53 ± 0,02 <sup>#</sup>
ФЛ, мкмоль фосфора·мг <sup>-1</sup> білка	1,65 ± 0,12	0,26 ± 0,02*	1,20 ± 0,03 <sup>#</sup>
Співвідношення ХС/ ФЛ	0,242 ± 0,008	2,538 ± 0,011*	0,442 ± 0,005 <sup>#</sup>

Примітки: \* – статистично достовірно ( $P < 0,05$ ) порівняно з даними до початку досліджень; <sup>#</sup> – статистично достовірно ( $P < 0,05$ ) порівняно з даними у спортсменів I підгрупи (використано непараметричні критерії розбіжності)

Як відомо, активація метаболічних процесів, в першу чергу, зміни ПАР, які супроводжуються суттєвим зниженням рази вмісту фосфоліпідів (при зростанні кількості їхніх окислених форм), зрушенням співвідношення «холестерол / фосфоліпідів» і ліпід-білкової взаємодії з наступним формуванням жорсткої мембрани та деформацією червоних клітин, є одним з чинників зменшення оксигенації тканин [35]. У наших дослідженнях встановлено, що спостерігається суттєве – у 6,34 рази – зниження вмісту ФЛ, зростання рівня загального ХС й зменшення результуючого показника ліпідного обміну в

структурі мембран – значення співвідношення ХС / ФЛ – під час тренувального процесу бігунів при переважно аеробному механізмі забезпечення скорочення скелетних м'язів з високим споживанням кисню (див. табл. 2), а, слід, й активізацією ВРО [7, 8], що вказує на порушення структури ліпід-білкового бішару мембрани та не суперечить даним літератури відносно перебудови плазмолемі внаслідок ОС та інших метаболічних зрушень за інтенсивних фізичних навантажень [36]. Застосування препарату «Армадін лонг» позитивно впливає на перебування ліпідного шару мембран, що віддзеркалю-

ється у кінцевому наслідку нормалізацією співвідношення «ХС / ФЛ».

Крім того, було проведено визначення змін білкового складу мембрани еритроцитів у спортсменів при застосуванні «Армадіну лонг» у динаміці тренувань (рис. 1). Отримані дані свідчать, що інтенсивні фізичні навантаження супроводжуються зростанням відносних показ-

ників вмісту скелетних білків у мембранній композиції порівняно з вихідними даними. В той же час по закінченні періоду дослідження в мембрані еритроцитів спортсменів I підгрупи (плацебо-контроль), порівняно з показниками у спортсменів основної (II) підгрупи, значно зростає рівень  $\alpha$ -спектрину та знижується – анкірину та тропоміозину.

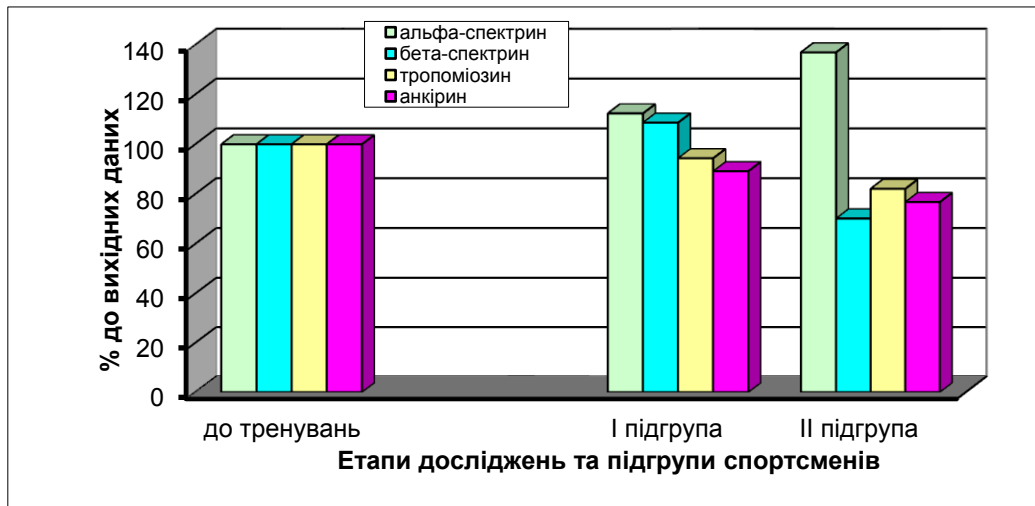


Рисунок 1 – Зміни відносного вмісту скелетних білків мембрани еритроцитів у спортсменів при застосуванні препарату «Армадін лонг» у динаміці фізичних навантажень

Зростання кількості спектрину, одного з основних високомолекулярних білків мембрани, який утворює разом з актином білкову сітку на її поверхні, свідчить про більш щільне, порівняно з нормою, упакування мембранного білка, що може призводити до зниження об'єму еритроцитів та їхньої здатності до деформації. При одночасному зменшенні кількості анкірину, основного глікопротеїду мембрани, змінюються функціональні властивості мембран, в першу чергу, їх текучість, порушується трансмембранний транспорт води, катіонів, різних ферментів [37].

Таким чином, можна стверджувати, що під дією «Армадіну лонг» відбувається нормалізація ПАР, яке порушується при окисному стресі будь-якого генезу [38, 39], у тому числі, при інтенсивних і тривалих фізичних навантаженнях [40], в плазматичних мембранах взагалі та еритроцитарних, зокрема [41]. Тобто можна з великим ступенем ймовірності резюмувати, що корекція функціонального стану еритроцитарних мембран вказує на прискорення кровообігу по мікросудинах та збільшення кисневої насиченості тканин [42]. Функціональний стан мембран еритроцитів разом зі зниженням показника ані-

зоцитозу, зафіксованому у нашому дослідженні, є, як вказують дані літератури, визначальними позитивними факторами для покращання еритроцитарної ланки кисень-транспортної функції крові [43].

Одним із запропонованих ще в 2010 р. S. P. Dufour зі співавторами механізмів регуляції кровообігу в скелетних м'язах та насиченості їх киснем є саме зміни в еритроцитарній ланці [44], що знайшло підтвердження у більш пізніх дослідженнях [45] Якщо ж розглядати мембрану еритроцита не як мембрану специфічної клітини крові, а як відображення загального пулу клітинних мембран організму, то слід констатувати, що їхній структурно-функціональний стан тісно пов'язаний із синтезом АТФ у клітинах, тобто «Армадін лонг» може мати опосередкований вплив на механізм енергозабезпечення м'язової діяльності [46].

Наявність відомих залежностей між фармакологічною ефективністю антиоксидантних препаратів спортсменів [47] та їх здатністю стимулювати фізичну працездатність та витривалість спортсменів [48], стали підґрунтям для проведення багатофакторного кореляційного аналізу у спортсменів при прийомі армаді-

ну лонг між  $\delta\text{PWC}_{170}$ , з одного боку, та показниками гематологічного гомеостазу, що вивчались, з іншого. Результати підрахунків довели, що найбільш значущі кореляційні залежності існують між  $\delta\text{PWC}_{170}$  та MCH (+0,81,  $P < 0,01$ ), мда (-0,77,  $P < 0,05$ ), GSH (+0,84,  $P < 0,05$ ) та

### CONCLUSIONS / ВИСНОВКИ

Таким чином, отримані дані свідчать, що застосування препарату «Армадін лонг» дає можливість покращення показників аеробної працездатності спортсменів. Ми вважаємо, що застосування цього метаболітоτροпного препарату не повинне бути «прив'язано» к визначеному пері-

СЗЕ (-0,88,  $P < 0,01$ ). Тобто результати математичного аналізу теж підтверджують наявність взаємозалежності між вираженістю антиоксидантної, еритропоетичної та мембранопротективної дії «Армадіну лонг» та аеробною працездатністю спортсменів.

оду підготовки, й він може бути використаний, залежно від індивідуальних характеристик та завдань тренувальної роботи, протягом всього річного макроциклу підготовки, в тому числі, для покращення переносу транспорту кисню до працюючих м'язів спортсменів.

### PROSPECTS FOR FUTURE RESEARCH / ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перспективи подальших досліджень полягають у більш детальному вивченні впливу препарату «Армадін лонг» та інших субстанцій на основі похідних бурштинової кислоти на тонкі біохімічні процеси, що відбуваються у клітинах

організму за інтенсивних фізичних навантажень, а оцінки дії препарату за ситуацій, пов'язаних з проведенням фізіотерапевтичних втручань у спортсменів.

### CONFLICT OF INTEREST / КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

### FUNDING / ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Відсутні.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS / ВКЛАД АВТОРІВ

Усі автори зробили істотний внесок у розробку початкової та доопрацьованої версії цієї статті. Вони несуть повну відповідальність за всі аспекти роботи і вирішення питань, пов'язаних з точністю або цілісністю наведеної інформації.

### REFERENCES/СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Gunina L, Voitenko V. Diagnostic and therapeutic approaches to the treatment of iron deficiency conditions in athletes. *Sporto Mokslas*. 2022;1(101):42–49. <https://doi.org/10.15823/sm.2022.101.6>.
2. Périard JD, Travers GJS, Racinais S, Sawka MN. Cardiovascular adaptations supporting human exercise–heat acclimation. *Auton. Neurosci*. 2016;196:52–62. doi: [10.1016/j.autneu.2016.02.002](https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.002).
3. Weight LM, Klein M, Noakes TD, Jacobs P. «Sports anemia» – A real or apparent phenomenon in endurance-trained athletes? *Int. J. Sports Med*. 1992;13:344–347. doi: [10.1055/s-2007-1021278](https://doi.org/10.1055/s-2007-1021278).
4. Damian MT, Vulturar R, Login CC, Damian L, Chis A, Bojan A. Anemia in Sports: A Narrative Review. *Life (Basel)*. 2021;11(9):987. doi: [10.3390/life11090987](https://doi.org/10.3390/life11090987).
5. Eichner ER. Athletes, Anemia, and Iron Redux. *Curr. Sports Med. Rep*. 2021;20(7):335–336. doi: [10.1249/JSR.0000000000000856](https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000856).
6. Muñoz Marín D, Barrientos G, Alves J, Grijota FJ, Robles MC, Maynar M. Oxidative stress, lipid peroxidation indexes and antioxidant vitamins in long and middle distance athletes during a sport season. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2018;58(12):1713–1719. doi: [10.23736/S0022-4707.17.07887-2](https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07887-2).
7. Gomez-Cabrera MC, Carretero A, Millan-Domingo F, Garcia-Dominguez E, Correias AG, Ollaso-Gonzalez G, Viña J. Redox-related biomarkers in physical exercise. *Redox Biol*. 2021;42:101956. doi: [10.1016/j.redox.2021.101956](https://doi.org/10.1016/j.redox.2021.101956).
8. Wang F, Wang X, Liu Y, Zhang Z. Effects of Exercise-Induced ROS on the Pathophysiological Functions of Skeletal Muscle. *Oxid. Med. Cell Longev*. 2021;2021:3846122. doi: [10.1155/2021/3846122](https://doi.org/10.1155/2021/3846122).
9. Ramos A, Coutinho P, Davids K, Mesquita I. Developing Players' Tactical Knowledge Using Combined Constraints-Led and Step-Game Approaches-A Longitudinal Action-Research

- Study. *Res. Q Exerc. Sport.* 2021;92(4):584–598. doi: [10.1080/02701367.2020.1755007](https://doi.org/10.1080/02701367.2020.1755007).
10. Platonov V, Nikitenko A. Agility and coordination testing in hand-to-hand combat sports. *Polish Journal of Sport and Tourism.* 2019;26(2):7–13.
  11. Paskausky AL, Simonelli MC. Measuring grade inflation: a clinical grade discrepancy score. *Nurse Educ. Pract.* 2014;14(4):374–379. doi: [10.1016/j.nepr.2014.01.011](https://doi.org/10.1016/j.nepr.2014.01.011).
  12. Gunina LM, Shustov YeB, Belenichev IF, Vysochina NL, Golovashchenko RV, Morozova OV. Specialized nutrition for athletes: evaluation of ergogenic action using the principles of evidence-based medicine. *Pharmacia.* 2022;69(1):37–44. doi:[10.3897/pharmacia.69.e76599](https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e76599).
  13. Gunina LM, Rybina IL, Ataman YuA, Voitenko VL. Oxidative stress as a factor in the deterioration of oxygen transfer during exercise (review). *Physiol. J.* 2021;67(5):54–63. doi: <https://doi.org/10.15407/fz67.05.054>.
  14. Reddy A, Bozi LHM, Yaghi OK, Mills EL, Xiao H, Nicholson HE, Paschini M, Paulo JA, Garrity R, Laznik-Bogoslavski D, Ferreira JCB, Carl CS, Sjøberg KA, Wojtaszewski JFP, Jeppesen JF, Kiens B, Gygi SP, Richter EA, Mathis D, Chouchani ET. pH-Gated Succinate Secretion Regulates Muscle Remodeling in Response to Exercise. *Cell.* 2020;183(1):62–75. doi: [10.1016/j.cell.2020.08.039](https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.08.039).
  15. Voitenko VL, Gunina LM. [The effect of succinic acid on changes in the mitochondrial apparatus of skeletal muscle cells during simulation of physical exertion in the experiment]. *Ukrainian J. Med., Biol. Sports.* 2021;6(1/29):293–302. doi: [10.26693/jmbs06.01.293](https://doi.org/10.26693/jmbs06.01.293).
  16. Storz JF, Bautista NM. Altitude acclimatization, hemoglobin–oxygen affinity, and circulatory oxygen transport in hypoxia. *Mol. Aspects Med.* 2022;84:101052. doi: [10.1016/j.mam.2021.101052](https://doi.org/10.1016/j.mam.2021.101052).
  17. Wehrlin JP, Marti B, Hallén J. Hemoglobin Mass and Aerobic Performance at Moderate Altitude in Elite Athletes. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2016;903:357–374. doi: [10.1007/978-1-4899-7678-9\\_24](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7678-9_24).
  18. Mendanha SA, Anjos JL, Silva AH, Alonso A. Electron paramagnetic resonance study of lipid and protein membrane components of erythrocytes oxidized with hydrogen peroxide. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2012;45(6):473–481. doi: [10.1590/s0100-879x2012007500050](https://doi.org/10.1590/s0100-879x2012007500050).
  19. Antonelou MH, Kriebardis AG, Velentzas AD. Oxidative stress-associated shape transformation and membrane proteome remodeling in erythrocytes of end stage renal disease patients on hemodialysis. *J. Proteomics.* 2011;74(11):2441–2452. doi: [10.1016/j.jprot.2011.04.009](https://doi.org/10.1016/j.jprot.2011.04.009).
  20. Gunina LM, Orel VE, Savosta AV, Tymchenko AS. [Surface architectonics of the cytoskeleton of erythrocytes in normal conditions and during metabolic changes in the body]. *Ukraine J. Hematol. Transfusiol.* 2008;(2):5–13.
  21. *Farmakologiya sporta* [Sport Pharmacology]; eds. SA Oleinik, LM Gunina, RD Seifulla. Kyiv, Olympic Literature Publ., 2010. 639 c.
  22. Kirichek LT, Shcherban NG. [Metabolic and metabolotropic drugs in the stress protection system]. *Int. Med. J.* 2012;(2):103–108.
  23. Semko GA. [Structural and functional changes in membranes and outer membrane layers of erythrocytes in hyperepidermopoiesis]. *Ukr. Biochem. J.* 1998;70:113–118.
  24. Bankova VV, Prishchepova NF, Avratinsky OI. [A method for assessing pathological changes in the plasma membrane in children with various diseases]. *Pathol. Physiol. Exp. Therapy.* 1987;(3):78–81.
  25. Shvets NI, Davydov VV. [Age-related features of changes in the glutathione system in the heart of rats under immobilization stress]. *Ukr. Biochem. J.* 2008;80(6):74–78.
  26. Mikhailovich VA, Marusanov VE, Bichun AB. [The permeability of the erythrocyte membrane and its sorption capacity are the optimal criteria for the severity of endogenous intoxication]. *Anesthesiol. Reanimatol.* 1993;(5):66–69.
  27. Borisov YuA, Spiridonov VN, Suglobova ED. [RBC Membrane Resistance: Mechanisms, Tests, Evaluation (Literature Review)]. *Clin. Lab. Diagn.* 2007;(12):36–40.
  28. Menshikov VV. *Laboratornyie issledovaniya v klinike (monografiya)* [Laboratory research in the clinic (monograph)]. Leningrad: Science Publ., 1990. 327 c.
  29. *Biologicheskie membrany.* [Metodyi Biological membranes. Methods]; ed. J. Findlay, W. Evans: from English. Moscow: MIR Publ., 1990. pp. 184–186.
  30. Holm TM, Braun A, Trigatti BL, Brugnara C, Sakamoto M, Krieger M, Andrews NC. Failure of red blood cell maturation in mice with defects in the high-density lipoprotein receptor SR-BI. *Blood.* 2002;99(5):1817–1824. doi: [10.1182/blood.v99.5.1817](https://doi.org/10.1182/blood.v99.5.1817).
  31. Gridin LA, Ikhmalinen AA, Bogomolov AV, Kovtun AP, Kukushkin YuA. *Metodyi issledovaniya i farmakologicheskoy korrektsii fizicheskoy rabotosposobnosti cheloveka; pod red. akademika RAN I.B. Ushakova.* [Research methods and pharmacological correction of human physical performance; ed. Academician of the Russian Academy of Sciences I.V. Ushakov] Moscow: Medicine Publ., 2007. 348 c.
  32. N'guessan BB, Asiamah AD, Arthur NK, Frimpong-Manso S, Amoateng P, Amponsah SK,

- Kukuia KE, Sarkodie JA, Opuni KF, Asiedu-Gyekye JJ, Appiah-Opong R. Ethanolic extract of *Nymphaea lotus* L. (Nymphaeaceae) leaves exhibits in vitro antioxidant, in vivo anti-inflammatory and cytotoxic activities on Jurkat and MCF-7 cancer cell lines. *BMC Complement. Med. Ther.* 2021;21(1):22. doi: [10.1186/s12906-020-03195-w](https://doi.org/10.1186/s12906-020-03195-w).
33. Schmid F, Barrett MJP, Obrist D, Weber B, Jenny P. Red blood cells stabilize flow in brain microvascular networks. *PLoS Comput Biol.* 2019;15(8):e1007231. doi: [10.1371/journal.pcbi.1007231](https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007231).
34. Meyer PAR. Re-orchestration of blood flow by microcirculations. *Eye (Lond).* 2018;32(2):222–229. doi: [10.1038/eye.2017.315](https://doi.org/10.1038/eye.2017.315).
35. Soulsbury CD, Dobson J, Deeming DC, Minias P. Energetic Lifestyle Drives Size and Shape of Avian Erythrocytes. *Integr. Comp. Biol.* 2022;62(Issue 1):71–80. <https://doi.org/10.1093/icb/icab195>.
36. Pingitore A, Lima GP, Mastorci F, Quinones A, Iervasi G, Vassalle C. Exercise and oxidative stress: potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition.* 2015;31(7–8):916–922. doi: [10.1016/j.nut.2015.02.005](https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.02.005).
37. Adak S, Chowdhury S, Bhattacharyya M. Dynamic and electrokinetic behavior of erythrocyte membrane in diabetes mellitus and diabetic cardiovascular disease. *Biochim. Biophys. Acta.* 2008;1780(2):108–115. doi: [10.1016/j.bbagen.2007.10.013](https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2007.10.013).
38. Kattoor AJ, Pothineni NVK, Palagiri D, Mehta JL. Oxidative Stress in Atherosclerosis. *Curr. Atheroscler. Rep.* 2017;19(11):42. doi: [10.1007/s11883-017-0678-6](https://doi.org/10.1007/s11883-017-0678-6).
39. Klaunig JE. Oxidative Stress and Cancer. *Curr. Pharm. Des.* 2018;24(40):4771–4778. doi: [10.2174/1381612825666190215121712](https://doi.org/10.2174/1381612825666190215121712).
40. de Oliveira DCX, Rosa FT, Simões-Ambrósio L, Jordao AA, Deminice R. Antioxidant vitamin supplementation prevents oxidative stress but does not enhance performance in young football athletes. *Nutrition.* 2019;63-64:29–35. doi: [10.1016/j.nut.2019.01.007](https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.01.007).
41. Cazzola R, Russo-Volpe S, Cervato G, Cestaro B. Biochemical assessments of oxidative stress, erythrocyte membrane fluidity and antioxidant status in professional soccer players and sedentary controls. *Eur. J. Clin. Invest.* 2003;33(10):924–930. doi: [10.1046/j.1365-2362.2003.01227.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2362.2003.01227.x).
42. Wan J, Forsyth AM, Stone HA. Red blood cell dynamics: from cell deformation to ATP release. *Integr. Biol. (Camb.).* 2011;3(10):972–81. doi: [10.1039/c1ib00044f](https://doi.org/10.1039/c1ib00044f).
43. Ferguson BS, Neidert LE, Rogatzki MJ, Lohse KR, Gladden LB, Kluess HA. Red blood cell ATP release correlates with red blood cell hemolysis. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 2021;321(5):C761–C769. doi: [10.1152/ajpcell.00510.2020](https://doi.org/10.1152/ajpcell.00510.2020).
44. Dufour SP, Patel RP, Brandon A, Teng X, Pearson J, Barker H, Ali L, Yuen AH, Smolenski RT, González-Alonso J. Erythrocyte-dependent regulation of human skeletal muscle blood flow: role of varied oxyhemoglobin and exercise on nitrite. *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.* 2010;299(6):H1936–1946. doi: [10.1152/ajpheart.00389.2010](https://doi.org/10.1152/ajpheart.00389.2010).
45. Travers G, Kippelen P, Trangmar SJ, González-Alonso J. Physiological Function during Exercise and Environmental Stress in Humans. An Integrative View of Body Systems and Homeostasis. *Cells.* 2022;11(3):383. doi: [10.3390/cells11030383](https://doi.org/10.3390/cells11030383).
46. Stovell MG, Mada MO, Helmy A, Carpenter TA, Thelin EP, Yan JL, Guilfoyle MR, Jalloh I, Howe DJ, Grice P, Mason A, Giorgi-Coll S, Gallagher CN, Murphy MP, Menon DK, Hutchinson PJ, Carpenter KLH. The effect of succinate on brain NADH/NAD<sup>+</sup> redox state and high energy phosphate metabolism in acute traumatic brain injury. *Sci. Rep.* 2018;8(1):11140. doi: [10.1038/s41598-018-29255-3](https://doi.org/10.1038/s41598-018-29255-3).
47. Kovaleva OV, Nikishkin IA, Raspopova NI, Kozyro VI. Effect of metabolites on the activity of enzymes protecting the stability of the erythrocyte membrane in experimental decompression sickness. *Fiziol Zh.* 1991;37(4):115–119. PMID: 1778246.
48. Galle FA, Martella D, Bresciani G. Antioxidant and anti-inflammatory modulation of exercise during aging. *Rev. Esp. Geriatr. Gerontol.* 2018;53(5):279–284. doi: [10.1016/j.regg.2018.03.003](https://doi.org/10.1016/j.regg.2018.03.003).

Received 02.08.2022

Accepted 13.09.2022

Одержано 02.08.2022

Затверджено до друку 13.09.2022

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Лариса Михайлівна Гуніна – заступник директора з науково-педагогічної роботи Навчально-наукового олімпійського інституту, доктор біологічних наук, професор, Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна (<https://orcid.org/0000-0003-2107-0983>), e-mail: [gunina.sport@gmail.com](mailto:gunina.sport@gmail.com)

**Юрій Олександрович Атаман** – завідувач кафедри фізичної терпії, ерготерапії та спортивної медицини Медичного інституту, доктор медичних наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, Україна (<https://orcid.org/0000-0002-6398-1016>), e-mail: [sportmed@med.sumdu.edu.ua](mailto:sportmed@med.sumdu.edu.ua)

**Ігор Федорович Беленічев** – завідувач кафедри фармакології та медичної рецептури з курсом нормальної фізіології, доктор медичних наук, професор, Запорізький медичний університет, м. Запоріжжя, Україна (<https://orcid.org/0000-0003-1273-5314>), e-mail: [i.belenichev1914@gmail.com](mailto:i.belenichev1914@gmail.com)

**Роман Володимирович Головащенко** – в.о. завідувача кафедри фізичного виховання, спорту і здоров'я, кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент, Державний податковий університет, м. Ірпінь, Україна (<https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>), e-mail: [romagolovaschenko@gmail.com](mailto:romagolovaschenko@gmail.com)

**Валентина Леонідівна Войтенко** – асистент кафедри фізичної терапії, ерготерапії та спортивної медицини Медичного інституту, доктор філософії з біологічних наук, Сумський державний університет, м. Суми, Україна (<https://orcid.org/0000-0002-3911-8116>), e-mail: [valiushka.voitenko@gmail.com](mailto:valiushka.voitenko@gmail.com)

**Вікторія Василівна Безугла** – викладач кафедри фізичної терапії та ерготерапії, Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна (<https://orcid.org/0000-0002-3368-5494>), e-mail: [victoriabezugla@gmail.com](mailto:victoriabezugla@gmail.com)

**Larisa Mykhailivna Gunina** – Deputy Director for Scientific and Pedagogical Work of the Educational and Scientific Olympic Institute, Doctor of Biological Sciences, Professor, National Ukraine University of Physical Education and Sports, Kyiv, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0003-2107-0983>), e-mail: [gunina.sport@gmail.com](mailto:gunina.sport@gmail.com)

**Yury Oleksandrovyeh Ataman** – Head of the Department of Physical Endurance, Occupational Therapy and Sports Medicine of the Medical Institute, Doctor of Medical Sciences, Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0002-6398-1016>), e-mail: [sportmed@med.sumdu.edu.ua](mailto:sportmed@med.sumdu.edu.ua)

**Ihor Fedorovych Belenichev** – Head of the Department of Pharmacology and Medical Formulation with a Course of Normal Physiology, Doctor of Medical Sciences, Professor, Zaporizhzhia Medical University, Zaporizhzhia, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0003-1273-5314>), e-mail: [i.belenichev1914@gmail.com](mailto:i.belenichev1914@gmail.com)

**Roman Volodymyrovych Golovashchenko** – acting Head of the Department of Physical Education, Sports and Health, Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor, State Tax University, Irpin, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0002-7607-1943>), e-mail: [romagolovaschenko@gmail.com](mailto:romagolovaschenko@gmail.com)

**Valentina Leonidovna Voitenko** – assistant professor of the Department of Physical Endurance, Occupational Therapy and Sports Medicine of the Medical Institute, Doctor of Philosophy in Biological Sciences, Sumy State University, Sumy, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0002-3911-8116>), e-mail: [valiushka.voitenko@gmail.com](mailto:valiushka.voitenko@gmail.com)

**Viktoriya Vasylivna Bezugla** – teacher of the Department of Physical Therapy and Occupational Therapy, National Ukraine University of Physical Education and Sports, Kyiv, Ukraine (<https://orcid.org/0000-0002-3368-5494>), e-mail: [victoriabezugla@gmail.com](mailto:victoriabezugla@gmail.com)