

<https://doi.org/10.28925/2664-2069.2023.19>

УДК: 796.071.5

## УЧАСТЬ АНТИОКСИДАНТНОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСІ АДАПТАЦІЇ ОРГАНІЗМУ СПОРТСМЕНІВ ПРИ НАПРУЖЕНІЙ М'ЯЗОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Станкевич Людмила<sup>1,2,3(ABCDF)</sup>, Земцова Ірина<sup>1(ACEF)</sup>,  
Хмельницька Юлія<sup>1(ACDF)</sup>, Вдовенко Наталія<sup>1,2(CEF)</sup>,  
Краснова Світлана<sup>1(CEF)</sup>, Тронь Руслан<sup>1(CEF)</sup>

<sup>1</sup>Національний університет фізичного виховання і спорту України,  
м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут фізичної культури та спорту,  
м. Київ, Україна

<sup>3</sup>Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна

Внесок автора:

А — концепція та дизайн дослідження; В — збір даних;  
С — аналіз та інтерпретація даних; D — написання статті;  
E — редагування статті; F — остаточне затвердження статті

### Анотація

*Актуальність.* Одним з видів біохімічних резервів організму людини є антиоксидантна система, яка зворотно впливає на руйнівну дію вільних радикалів і утримує рівень перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) у фізіологічно безпечних межах. У статті наведено результати визначення антиоксидантних властивостей крові борців і боксерів у стані спокою та після фізичного навантаження на 10хв відновлення, через 1 годину та ранком наступного дня. Активація ПОЛ під впливом фізичних навантажень – це один із проявів загального синдрому адаптації – стресу і кількісне визначення її параметрів є важливим для своєчасного застосування антистресових засобів і заходів.

*Мета дослідження:* вивчення інформативних показників антиоксидантної системи крові спортсменів різних спеціалізацій у стані спокою і після впливу фізичних навантажень.

*Матеріали і методи.* У дослідженні брав участь 21 спортсмен високого класу (чоловіки і жінки) віком 19-30 років. Вміст ТБК-активних продуктів визначали в капілярній крові спортсменів колориметричним методом по реакції з тіобарбітуровою кислотою. Перекисну резистентність еритроцитів досліджували на фотометрі LP-400, „Dr.Lange” (Німеччина) з використанням готових наборів реактивів.

*Результати.* Після контрольних-тренувальних навантажень тривалістю близько 1,5 години у представників греко-римської боротьби та боксу вміст ТБК-активних продуктів та перекисний гемоліз еритроцитів значно підвищилися відносно стану спокою на 10 хвилині відновлення, через годину та ранком



наступного дня. Підвищення вмісту ТБК-активних продуктів та гемолізу еритроцитів під впливом фізичних навантажень вказує на надмірну активацію процесу генерації вільних радикалів та посилення ПОЛ внаслідок недостатньої потужності антиоксидантного захисту.

*Висновки.* Резюмуючи представлений у цій роботі аналіз та інтерпретацію результатів проведеного дослідження, а також результати раніше проведених досліджень, можна вважати переконливо доведеним факт активації ПОЛ у тканинах, що інтенсивно функціонують при напруженій м'язовій діяльності, та важливу роль АО-системи організму в забезпеченні високої фізичної працездатності. Виявлена при цьому специфічність функціонування окремих механізмів при заняттях різними видами спорту служить об'єктивним обґрунтуванням для вибору засобів і способів їх корекції, що забезпечує захисну дію від негативних впливів посилення вільнорадикальних реакцій і сприяє тим самим підвищенню стійкості організму до впливу вільних радикалів, стимуляції ефективності м'язової діяльності та прискоренню процесу відновлення.

*Ключові слова:* спорт, антиоксидантна система, гемоліз, еритроцити, кров, метаболізм.

## PARTICIPATION OF THE ANTIOXIDANT SYSTEM IN THE PROCESS OF ADAPTATION OF THE BODY OF ATHLETES DURING INTENSE MUSCLE ACTIVITY

Stankevych Liudmyla<sup>1,2,3</sup>, Zemtsova Irina<sup>1</sup>, Khmelnytska Yulia<sup>1</sup>,  
Vdovenko Natalia<sup>1,2</sup>, Krasnova Svitlana<sup>1</sup>, Tron Ruslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University of Physical Education and Sport of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>State Research Institute of Physical Culture and Sports, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

### Abstract

*Introduction.* One of the types of biochemical reserves of the human body is the antioxidant system, which reverses the destructive effect of free radicals and keeps the level of lipid peroxidation (LPO) within physiologically safe limits. The article presents the results of determination of the antioxidant properties of the blood of wrestlers and boxers at rest and after physical activity for 10 minutes of recovery, after 1 hour and in the morning of the next day. The activation of LPO under the influence of physical activity is one of the manifestations of the general adaptation syndrome - stress, and the quantification of its parameters is important for the timely use of anti-stress agents and measures.

*The purpose of the study:* to study the informative indicators of the antioxidant system of the blood of athletes of different specializations at rest and after the influence of physical activity.



*Materials and methods.* The study involved 21 high-class athletes (men and women) aged 19-30 years. The content of TBA-active products was determined in the capillary blood of athletes by the colorimetric method of reaction with thiobarbituric acid. The peroxide resistance of erythrocytes was studied using a photometer LP-400, "Dr. Lange" (Germany), using ready – made reagent kits. Statistical processing of the data was performed using standard computer programs.

*Results.* After control-training loads lasting about 1.5 hours in representatives of Greco-Roman wrestling and boxing, the content of TBA-active products and erythrocyte peroxidation increased significantly relative to the resting state at the 10th minute of recovery, after an hour and in the morning of the next day. The increase in the content of TBA-active products and erythrocyte hemolysis under the influence of physical activity indicates excessive activation of the process of free radical generation and increased LPO due to insufficient antioxidant protection.

*Conclusions.* Summarizing the analysis and interpretation of the results of the study presented in this paper, as well as the results of previous studies, we can consider the fact of activation of LPO in tissues that function intensively during intense muscle activity and the important role of the body's AO system in ensuring high physical performance to be convincingly proven. The specificity of the functioning of individual mechanisms in various sports is an objective basis for the choice of means and methods of their correction, which provides a protective effect against the negative effects of increased free radical reactions and thereby increases the body's resistance to free radicals, stimulates the efficiency of muscle activity and accelerates the recovery process.

**Key words:** sport, antioxidant system, hemolysis, red blood cells, blood, metabolism.

## Вступ

Значні фізичні навантаження є найпотужнішим фактором мобілізації функціональних резервів організму спортсменів, стимуляції інтенсивності метаболізму та функцій, підвищення витривалості, сили, швидкісних можливостей та, відповідно, зростання спортивних результатів.

З іншого боку, фізичні навантаження, є такими, що прискорюють інтенсивну витрату енергетичних ресурсів, мінеральних речовин і вітамінів в організмі спортсмена, що може призвести не тільки до зниження працездатності,

уповільнення відновлювальних та адаптаційних реакцій, але й до стану переадаптації та розвитку патологічних процесів [2, 8, 9, 13].

До однієї з головних причин такого роду порушень відносять посилення реакцій вільнорадикального окиснення та зв'язаного з ним процесу перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ), що розглядається як прояв стрес-реакції на клітинному, субклітинному та молекулярному рівнях [4, 10].

Фізичні навантаження викликають глибокі біохімічні зміни в організмі, що зачіпають, зокрема, і процеси ПОЛ [3, 10]. Тому проблема біологічного окиснення,



співвідношення та взаємодії окисно-відновних процесів, як найважливішого компонента гомеостазу, багато років хвилює біологів та медиків та належить до однієї з важливих наукових проблем [16].

Одним з найважливіших біологічних ефектів ПОЛ є окиснення ненасичених жирних кислот ліпідів клітинних та субклітинних мембран [14], що значно погіршує функціонування клітинних і субклітинних структур. Пошкодження мембран може бути зумовлене порушенням як ліпідних, так і білкових (ферментних) компонентів мембран [1, 6], що виявляється в їх первинному окисненні з наступним протеолітичним розпадом.

Вивчення реакцій ПОЛ показало, що швидкість цього процесу в біологічних мембранах залежить від сили впливу і може призводити до створення надлишку вільних радикалів [7]. Причому характер цих реакцій тісно пов'язаний із гормональним статусом [2].

Значна активація процесів ПОЛ призводить до накопичення в клітинах певних продуктів: гідропероксидів, перекисів ліпідів, а також інших сполук – спиртів, кетонів, альдегідів, діальдегідів, епоксидів, полімерів і сполук, які активно реагують з різними клітинними органелами, що може призводити до зміни активності ферментів біологічних мембран та їх руйнуванню [11].

Мембранні структури клітини та субклітинні утворення дуже чутливі до впливу на організм різних

екстремальних факторів, що часто може виражатися у порушенні їх будови, зміні проникності та дезінтеграції [4, 5]. Такі зміни можуть спостерігатися в мембранах субклітинних структур (мітохондрій, лізосом, саркоплазматичного ретикулуму тощо), еритроцитах крові, в результаті чого з клітини і субклітинних утворень звільняються вільні амінокислоти, ферменти, мінеральні компоненти тощо, що призводить до порушення багатьох процесів і, насамперед, перетворення енергії. Наведені факти дають підстави вважати, що в основі цілого ряду реакцій організму на адекватні та неадекватні фізичні навантаження може лежати активація процесів ПОЛ, що має місце при напруженій м'язовій діяльності [7].

Встановлено, зокрема, що значна частина ішемічних ушкоджень міокарда пов'язана з генерацією активних форм кисню в ньому і навіть при одноразовому тестуванні фізичними навантаженнями осіб без ознак коронарної недостатності на електрокардіограмі можна зареєструвати ішемічні реакції, тісно пов'язані з процесами ПОЛ [4, 8]. З ліпопероксидацією пов'язують і хронічну перенапругу міокарда, яка може спостерігатись і у спортсменів [9, 10].

Як свідчать результати експериментальних досліджень, тривале фізичне навантаження аеробного характеру супроводжується значною активацією ПОЛ, що розцінюється як свідчення впливу неадекватних фізичних навантажень та



недостатності антиоксидантної здатності організму в цілому [12, 14].

Роботи Лестера Пакера [10], всесвітньо відомого фахівця з дослідження антиоксидантів каліфорнійського університету в Берклі, вказують на те, що всі без винятку атлети схильні до ризику окиснювального стресу і м'язових травм. Число вільних радикалів, що утворюються в організмі, залежить від інтенсивності тренування, спортивної форми та навантаження на окремі групи м'язів.

Таким чином, приймаючи до уваги різноманітні метаболічні, морфологічні та функціональні ефекти ПОЛ, можна пояснити, що спектр такого впливу при фізичних навантаженнях звичайно широкий, що, у свою чергу, обґрунтовує цілеспрямованість проведення подальших досліджень у цьому напрямку.

Одним із головних напрямків такого роду досліджень є вивчення закономірностей функціонування механізмів, що забезпечують захист клітин від надмірної активації процесів ПОЛ, а саме — роль окремих ланок АО-системи, якій, належить значна роль в забезпеченні фізичної працездатності.

**Зв'язок роботи з важливими науковими програмами або практичними завданнями.** Дослідження виконано в межах наукових тем «Контроль та корекція метаболізму кваліфікованих спортсменів за умов інтенсивних фізичних навантажень» (номер держреєстрації 0120U103004) та «Вплив ендогенних та екзогенних факторів на перебіг адаптаційних

реакцій організму до фізичних навантажень різної інтенсивності» (номер держреєстрації 012U108187).

### Мета дослідження

Мета роботи: вивчення інформативних показників загальної антиоксидантної активності крові спортсменів різних спеціалізацій у стані спокою і після впливу фізичних навантажень.

### Матеріал і методи дослідження

Дослідження проведено на експериментальній базі Державного науково-дослідного інституту фізичної культури та спорту за участю 21 спортсмена високого класу (чоловіки й жінки) віком 19-30 років. Спортсмени, що спеціалізуються у боксі та греко-римській боротьбі знаходились на спеціально-підготовчому етапі підготовчого періоду річного циклу підготовки.

Спортсмени виконували контроль-тренувальне навантаження, яке складалось з серії сутичок (греко-римська боротьба) та короткі інтенсивні бої тривалістю 3-5 хвилин (бокс), загальний час роботи склав 1,5 години.

Оцінка результатів обстеження по зрушеннях фізіологічних і біохімічних показників проводилася до та після контроль- рухових проявів працездатності.

Вміст ТБК-активних продуктів визначали в капілярній крові спортсменів колориметричним методом по реакції з тіобарбітуровою кислотою [4] до і після виконання тестових навантажень.

Перекисну резистентність



еритроцитів досліджували за модифікованим методом Ідельсона Л.І. [4] на фотометрі LP-400, „Dr.Lange” (Німеччина).

Кров для дослідження брали перед фізичним навантаженням, а також після завершення контрольних навантажень на 10 хв, через 1 годину та через 24 години, тобто ранком наступного дня відновлювального періоду.

Отримані результати статистично обробляли з використанням пакету програм Microsoft Office Excel з розширенням Real Statistics. Для перевірки розподілу на нормальність було застосовано розрахунок критерію Шапіро-Уїлка. Оскільки варіаційні ряди відповідали нормальному розподілу, то для їх порівняння використовували критерій t Стьюдента для незалежних вибірок.

Дослідження проведено відповідно до основних біоетичних норм Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення науково-медичних досліджень із поправками (2000, з поправками 2008), Універсальної декларації з біоетики та прав людини (1997), Конвенції Ради Європи з прав людини та біомедицини (1997). Письмова інформована згода була отримана у кожного учасника дослідження.

### Результати дослідження та їх обговорення

Оскільки рівень ПОЛ визначається, з одного боку, процесами радикало- і перекисеутворення, а з іншого боку –

станом ендогенних систем антиоксидантного захисту, оцінка активності цих систем має практичне значення в підготовці спортсменів високої кваліфікації [15, 16].

Одним з найбільш важливих, на наш погляд, проявів у змінах стану АО-системи організму під впливом збільшеної інтенсивності перебігу процесів метаболізму при напруженій м'язовій діяльності є реакції вільнорадикального окиснення, що залежать, у свою чергу, від інтенсивності та тривалості фізичних навантажень.

Виходячи із завдань дослідження нами було визначено концентрацію у крові вторинного продукту ПОЛ – малонового діальдегіду (МДА) за вмістом ТБК-активних продуктів – інтегрального показника балансу про- і антиоксидантного статусу організму, який засвідчив значне посилення ПОЛ, що відбиває ступінь активації стану стресу.

В результаті проведеного дослідження спортсменів (бокс, греко-римська боротьба) виявлено (рис. 1), що в стані спокою вміст МДА в обох групах спортсменів істотно не відрізнявся і склав  $146,82 \pm 2,92$  ммоль·л<sup>-1</sup> і  $159,13 \pm 4,90$  ммоль·л<sup>-1</sup> відповідно. Це свідчить, що вміст ТБК-активних продуктів у спортсменів цих груп підтримується на відносно постійному рівні завдяки роботі складного механізму саморегуляції – антиоксидантної системи, яка, по суті, виконує роль своєрідного буфера.

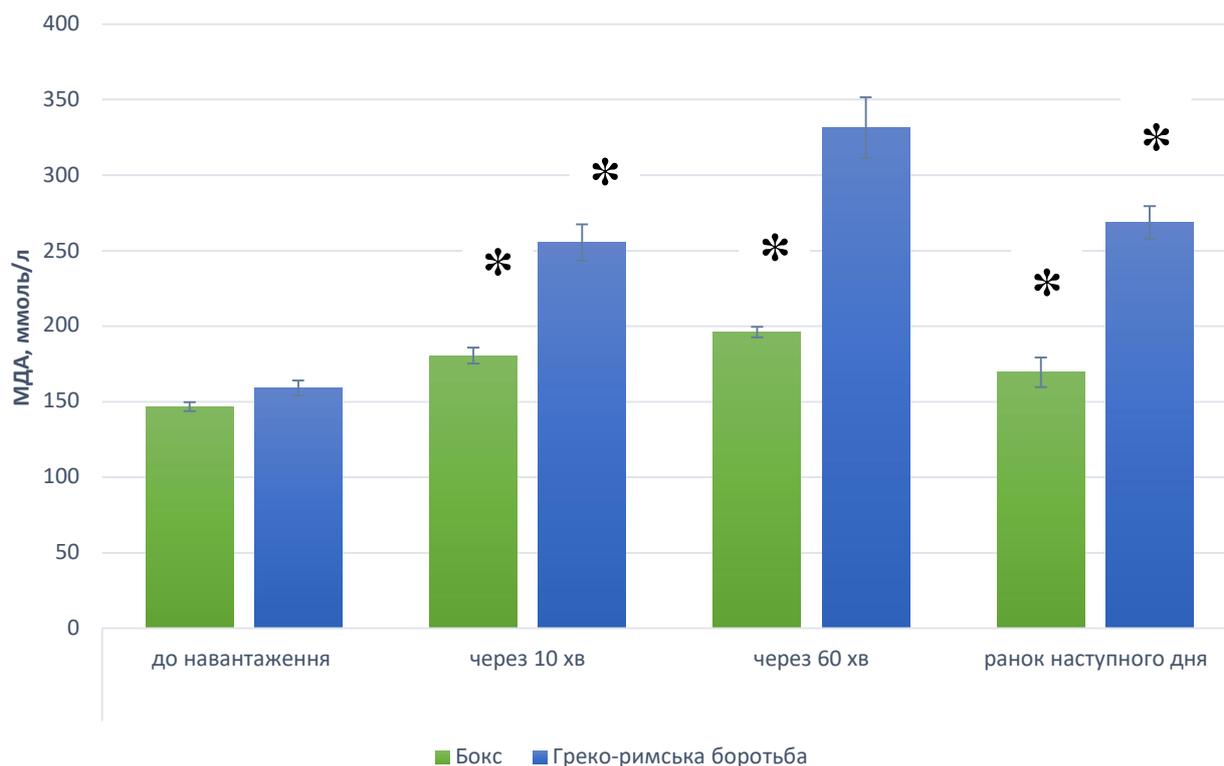


Рисунок 1. Зміни рівня ТБК-активних продуктів у крові представників боксу та греко-римської боротьби після контрольно - тренувальних навантажень у порівнянні зі станом спокою, (n=21)

Примітка: \* – достовірно відносно стану до навантаження ( $p < 0,05$ )

Головними компонентами цієї системи є антиоксидантні ферменти, а також присутні в тканинах жиророзчинні та водорозчинні антиоксиданти [4, 6].

Після контрольно-тренувальних навантажень тривалістю близько 1,5 години у спортсменів – представників греко-римської боротьби та боксу нами був досліджений в динаміці вміст ТБК-активних продуктів: на 10 хвилині відновного періоду, через годину та ранком наступного дня.

Результати засвідчили, що на 10 хвилині вміст ТБК-активних продуктів підвищився відносно стану спокою та склав  $255,33 \pm 12,04$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ) та  $180,60$

$\pm 5,29$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ), через годину –  $331,41 \pm 20,16$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ) та  $196,02 \pm 3,50$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ), ранком наступного дня –  $268,59 \pm 10,81$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ) та  $169,52 \pm 9,78$  ммоль·л<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ) відповідно.

З отриманих даних можна зазначити, що специфічні тестові навантаження різної енергетичної спрямованості стимулюють посилення ПОЛ, що призвело до значного порушення прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в організмі спортсменів в бік вільно - радикального окиснення.

Спостерігався різний ступінь збільшення вмісту ТБК-активних продуктів – більш виразний у



представників греко-римської боротьби на всіх етапах процесу відновлення, що свідчить про більшу стимуляцію ПОЛ під час виконання тестових навантажень.

Великі значення вмісту МДА були відмічені у представників греко-римської боротьби як через годину, так і ранком наступного дня, що може бути зумовлено двома факторами: посиленою генерацією вільних радикалів та недостатнім антиоксидантним захистом.

Оскільки фізичні навантаження є стресовим агентом і завжди супроводжуються посиленням утворення вільних радикалів, то знижувати утворення вільних радикалів у процесі тренувальної та змагальної діяльності спортсменів утруднено.

Більш ефективним механізмом є посилення антиоксидантного захисту шляхом використання екзогенних антиоксидантів, які спрямовано впливають на певні ланки антиоксидантної системи організму [10, 11, 12].

Виявлений факт відкриває перспективи для широкого використання методу визначення вмісту МДА в практиці спортивної підготовки й особливо важливим представляється індивідуальний контроль динаміки цього показника в річному циклі тренування спортсменів високого класу з метою подальшої корекції антиоксидантного статусу їхнього організму за допомогою раціоналізації харчування та використання екзогенних антиоксидантів [4].

Серед безлічі показників, що

характеризують властивості еритроцитів, найбільш важливим є їх резистентність – стійкість до руйнівних впливів різних факторів, яка є інтегральним показником, що дозволяє судити про функціональний стан еритроцитів.

Висока резистентність підвищує працездатність, сприяє протидії розвитку стомлення та забезпеченню процесів відновлення в умовах тренувальної та змагальної діяльності спортсменів, тренуваних на витривалість [5].

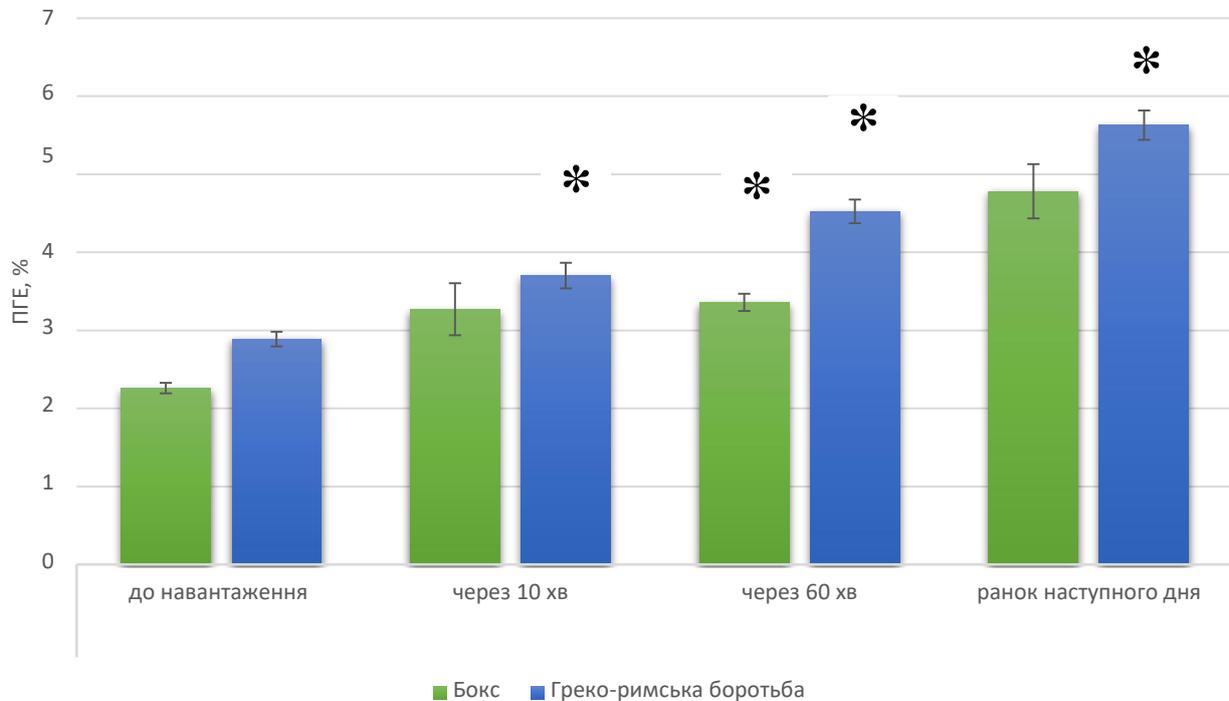
Наслідком активації процесів ПОЛ у крові може бути підвищення рівня гемолізу еритроцитів, у тому числі і при напруженій м'язовій діяльності, що вимагає прояву спеціальної витривалості. Це обумовлено високою чутливістю еритроцитарної мембрани до ПОЛ і однією з причин такого впливу є високий вміст у ній поліненасичених жирних кислот, а також присутність великої кількості як внутрішньо-, так і позаклітинного кисню [7].

Результати досліджень показали, що у представників греко-римської боротьби та боксу, відбуваються суттєві біохімічні зміни, пов'язані з посиленням ПОЛ у ліпідному шарі мембран, підвищення вмісту ТБК-активних продуктів, що зменшує перекисну резистентність еритроцитів.

ПГЕ виявився дуже чутливим показником реакції організму на комплекс тестових навантажень, який в динаміці процесу відновлення поступово зростає відносно стану спокою (рис. 2), і склав у представників греко-римської боротьби та боксу на 10 хвилині

відновлення  $3,70 \pm 0,16\%$  ( $p < 0,05$ ) та  $3,27 \pm 0,33\%$  ( $p < 0,05$ ), через годину  $4,52 \pm 0,15\%$  ( $p < 0,05$ ) та  $3,36 \pm 0,33\%$  ( $p < 0,05$ ), ранком наступного дня  $5,63 \pm 0,19\%$  ( $p < 0,05$ ) та  $4,78 \pm 0,35\%$  ( $p < 0,05$ ). Отримані дані вказують на

зниження резистентності еритроцитарних мембран до впливу перекисних сполук, які утворюються під впливом фізичних навантажень, що використовувались.



**Рисунок 2. Зміни рівня перекисного гемолізу еритроцитів у крові представників боксу та греко-римської боротьби після контрольно-тренувальних навантажень у порівнянні зі станом спокою, (n=21)**

*Примітка: \* – достовірно відносно стану до навантаження ( $p < 0,05$ )*

Більш виразне зростання гемолізу еритроцитів як під час тестування, так і в динаміці процесу відновлення спостерігались у представників греко-римської боротьби, що свідчить про значне зменшення їх перекисної резистентності, тобто стійкості в умовах стимуляції утворення перекисних сполук.

Внаслідок зниження резистентності еритроцитів підвищується здатність їх до гемолізу і, як наслідок, знижується киснева ємність крові – важливий

фактор, що лімітує прояв витривалості спортсменів [10].

Значне підвищення гемолізу еритроцитів під впливом фізичних навантажень вказує на надмірну активацію процесу генерації вільних радикалів та посилення ПОЛ внаслідок недостатньої потужності антиоксидантного захисту еритроцитарних мембран, низької здатності до перерозподілу антиоксидантів в організмі в умовах окисного стресу.

У цих умовах використання екзогенних антиоксидантів у вигляді



біологічно-активних добавок є бажаним та необхідним.

### Висновки

Резюмуючи представлений у цій роботі аналіз та інтерпретацію результатів проведеного дослідження, а також данні раніше проведених досліджень [5, 13, 15], можна вважати переконливо доведеним факт активації ПОЛ у тканинах, що інтенсивно функціонують при напруженій м'язовій діяльності, та важливу роль АО-системи організму в забезпеченні високої фізичної працездатності.

Відмічено специфічність стимуляції ПОЛ у представників греко-римської боротьби і боксу за вмістом МДА у крові та гемолізом еритроцитів, що відбивається в реакціях на тестові навантаження і динаміці процесів відновлення, яка у представників греко-римської боротьби була більш виразною і тому

вимагала додаткових засобів корекції стану ПОЛ.

Виявлені особливості функціонування окремих ланок АО-системи служать об'єктивним обґрунтуванням для вибору засобів і способів їх корекції, що забезпечують захисну дію від негативних впливів посилення вільнорадикальних реакцій і сприяють тим самим підвищенню ефективності м'язової діяльності та стимуляції процесів відновлення.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальшому у представників боксу та греко-римської боротьби планується дослідити вплив антиоксидантів на метаболізм, стан біологічних мембран, а звідси на характеристики потужності м'язової діяльності та функції організму, що забезпечують зростання спортивної працездатності та прискорюють відновні процеси.

### Література:

1. Беленічев ІФ, Левицький ЄЛ, Губський ЮІ, Коваленко СІ, Марченко ОМ. Антиоксидантна система захисту організму. *Сучасні проблеми токсикології*. 2002;3(19):24-31.
2. Майданюк ОВ, Вдовенко НВ. Вплив інтенсивних фізичних навантажень на концентрацію тестостерону, кортизолу та інсуліну в крові кваліфікованих спортсменів. *Проблеми ендокринної патології*. 2021;76 (2):49-55. DOI:10.21856/j-PEP.2021.2.07
3. Маркідес М. Взаємозв'язок процесів ПОЛ із показниками субстратного метаболізму у віддаленому відновлювальному періоді після фізичних навантажень. *Теорія і методика фізичного виховання і спорту*. 2003;1:79-81.

### References:

1. Byelenichev IF, Levytskyu EL, Hubskeyu YI, Kovalenko SI, Marchenko OM. The body's Antioxidant defense system in human body. *Suchasni problemy toksykologiyi*. 2002;3(19):24-31. (in Ukrainian)
2. Maidaniuk OV, Vdovenko NV. Effect of intensive physical loads on testosterone, cortisol and insulin blood concentrations in elite athletes. *Problemy endokrynnoyi patolohiyi*. 2021;76 (2):49-55. Doi:10.21856/j-PEP.2021.2.07 (in Ukrainian)
3. Markides M. Relationship between POL processes and indicators of substrate metabolism in the remote recovery period after physical exertion. *Teoriya i metodyka fizychnoho vykhovannya i sportu*. 2003;1:79-81. (in Ukrainian)



4. Смульский ВЛ, Земцова ИИ, Сутковой ДА. Повышение устойчивости организма к напряженной мышечной деятельности путем коррекции состояния его антиоксидантной системы. *Наука в олимпийском спорте*. 1999;87-92.
5. Хмельницька ЮК, Станкевич ЛГ, Земцова ІІ. Можливості використання лактату крові в процесі фізіологічного тестування веслярів на байдарках і каное під час загальнопідготовчого етапу підготовчого періоду. *Фізична культура та спорт в європейському освітньому просторі*. 2021;94-98. DOI:10.30525/978-9934-26-112-1-23.
6. Alessio HM. Exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993;25:218–224.
7. Dmitriev LF, Titov VN. Lipid peroxidation in relation to ageing and the role of endogenous aldehydes in diabetes and other age-related diseases. *Ageing Res Rev.* 2010;9(2):200-210. DOI:10.1016/j.arr.2009.09.004
8. Kropta R, Khmelnitskaya Y, Hruzevych I et al. Realization the functional preparedness of the ski athletes under the model conditions of competitive distance. *Journal of Physical Education and Sport*, 2020;20(1);164-169. DOI:10.7752/jpes.2020.01022
9. Maidaniuk O, Vdovenko N, Husarova A. Effect of intensive physical loads on plasma testosterone and cortisol concentration in elite athletes. *Physical Education Theory and Methodology*. 2022;22(3):379–385. DOI:10.17309/tmfv.2022.3.12
10. Paker L, Land JK, Gohil K, Burk RT. Selenium deficiency, endurance exercise capacity, and antioxidant status in rats. *Journal of Applied Physiology*. 1987;63:2531-2535.
11. 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.
4. Smulskiy VL, Zemtsova II, Sutkovoy DA. Increasing the body's resistance to intense muscle activity by correcting the state of its antioxidant system. *Science in Olympic Sport*. 1999;87-92. (in Russian)
5. Khmelnitska YK, Stankevich LG, Zemtsova II. Possibility of testing blood lactate in the process of physiological testing of paddlers on kayaks and during the first hour of the preparation stage of the preparation period. *Fizychna kultura ta sport v yevropeyskomu osvithnomu prostori*. 2021;94-98. DOI:10.30525/978-9934-26-112-1-23. (in Ukrainian)
6. Alessio HM. Exercise-induced oxidative stress. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993;25:218–224.
7. Dmitriev LF, Titov VN. Lipid peroxidation in relation to ageing and the role of endogenous aldehydes in diabetes and other age-related diseases. *Ageing Res Rev.* 2010;9(2):200-210. DOI:10.1016/j.arr.2009.09.004
8. Kropta R, Khmelnitskaya Y, Hruzevych I et al. Realization the functional preparedness of the ski athletes under the model conditions of competitive distance. *Journal of Physical Education and Sport*, 2020;20(1);164-169. DOI:10.7752/jpes.2020.01022
9. Maidaniuk O, Vdovenko N, Husarova A. Effect of intensive physical loads on plasma testosterone and cortisol concentration in elite athletes. *Physical Education Theory and Methodology*. 2022;22(3):379–385. DOI:10.17309/tmfv.2022.3.12
10. Paker L, Land JK, Gohil K, Burk RT. Selenium deficiency, endurance exercise capacity, and antioxidant status in rats. *Journal of Applied Physiology*. 1987;63:2531-2535.
11. 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

12. Reid MB. Reactive Oxygen Species as Agents of Fatigue. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(11):2239-2246.

DOI:10.1249/MSS.0000000000001006

13. Stankevych L, Khmelnytska Y, Vdovenko N, Rossokha H, Yefanova V. Peculiarities of adaptive changes of qualified athlete to middle mountain conditions, *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport.* 2022;26(1):3-8.

14. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol.* 2007;39(1):44-84.

DOI:10.1016/j.biocel.2006.07.001

15. Zemtsova I, Stankevich L, Khmelnytskaya Y, Vdovenko N, Dolgoplova V, Krasnova S, Ludvichenko O. Efficiency of using a range of biologically active additives for middle distance runners. *Journal of Physical Education and Sport,* 2020;20(1):505-510.

DOI:10.7752/jpes.2020.s1075

16. Zhou Z, Chen C, Teo E-C, Zhang Y, Huang J, Xu Y, Gu Y. Intracellular oxidative stress induced by physical exercise in adults: systematic review and meta-analysis. *Antioxidants.* 2022;11(9):1751.

DOI:10.3390/antiox11091751

Doi:10.1016/j.nut.2015.02.005

12. Reid MB. Reactive Oxygen Species as Agents of Fatigue. *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48(11):2239-2246.

DOI:10.1249/MSS.0000000000001006

13. Stankevych L, Khmelnytska Y, Vdovenko N, Rossokha H, Yefanova V. Peculiarities of adaptive changes of qualified athlete to middle mountain conditions, *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport.* 2022;26(1):3-8.

14. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MT, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol.* 2007;39(1):44-84.

DOI:10.1016/j.biocel.2006.07.001

15. Zemtsova I, Stankevich L, Khmelnytskaya Y, Vdovenko N, Dolgoplova V, Krasnova S, Ludvichenko O. Efficiency of using a range of biologically active additives for middle distance runners. *Journal of Physical Education and Sport,* 2020;20(1):505-510.

DOI:10.7752/jpes.2020.s1075

16. Zhou Z, Chen C, Teo E-C, Zhang Y, Huang J, Xu Y, Gu Y. Intracellular oxidative stress induced by physical exercise in adults: systematic review and meta-analysis. *Antioxidants.* 2022;11(9):1751.

DOI:10.3390/antiox11091751

*Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів.*

### Інформація про авторів:

**Станкевич Людмила**

*к.фіз.вих., доцент*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8521-5363

E-mail: redka65@ukr.net

**Земцова Ірина***к.б.н., доцент*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-0540-4109

E-mail: irazemtsova.mail@gmail.com

**Хмельницька Юлія***к.фіз.вих., доцент*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-0231-1879

E-mail: juliyakhmel@gmail.com

**Вдовенко Наталія***к.б.н., старший науковий співробітник*

Державний науково-дослідний інститут фізичної культури і спорту

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-3097-5920

E-mail: natazlyv@gmail.com

**Краснова Світлана***к.б.н., доцент*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-8592-5624

E-mail: s.krasnova@ukr.net

**Тронь Руслан***к.фіз.вих., доцент*

Національний університет фізичного виховання і спорту України

м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-0307-2280

E-mail: rusan.tron@gmail.com

Отримано: 04.02.2023

Прийнято: 14.02.2023

Опубліковано: 30.03.2023

Станкевич Людмила, Земцова Ірина, Хмельницька Юлія, Вдовенко Наталія, Краснова Світлана, Тронь Руслан. Участь антиоксидантної системи в процесі адаптації організму спортсменів при напруженій м'язовій діяльності. *Спортивна наука та здоров'я людини*. 2023;1(9):126-138. DOI:10.28925/2664-2069.2023.19