

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

СИМОНІК АНАСТАСІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК: 575.826:577.1(043.5)

**РОЛЬ ОКСИДАТИВНО-НІТРАТИВНОГО СТРЕСУ
В ПРОЦЕСІ АДАПТАЦІЇ ДО ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

03.00.13 – фізіологія людини і тварин

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

ЛЬВІВ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі медико-біологічних основ фізичної культури і спорту Запорізького національного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
БОГДАНОВСЬКА Надія Василівна,
Запорізький національний університет,
завідувач кафедри фізичної реабілітації

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України,
доктор медичних наук, професор
САГАЧ Вадим Федорович,
Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН
України, завідувач відділу фізіології кровообігу

доктор біологічних наук, професор
КОРОБЕЙНИКОВ Георгій Валерійович,
Національний університет фізичного виховання
і спорту України, професор кафедри медико-
біологічних дисциплін

Захист відбудеться «___» _____ 2017 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.051.14 Львівського національного університету імені Івана Франка за адресою: 79005, м. Львів, вул. Грушевського, 4, біологічний факультет, ауд. № 333.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Львівського національного університету імені Івана Франка за адресою: 79005, м. Львів, вул. Драгоманова, 17.

Автореферат розіслано «___» _____ 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 35.051.14
кандидат біологічних наук, доцент

М. В. Бура

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Загальновідомою є важлива роль фізичних навантажень в оптимізації функціонального стану фізіологічних систем організму, забезпеченні високого рівня фізичної працездатності, психічного та фізичного здоров'я, прискоренні відновлювальних процесів після перенесених травм і захворювань (Міщенко В. С., 1994; Фурман Ю. М., 2003; Платонов В. М., 2004; Маліков М. В., 2005; Коробейніков Г. В., 2006; Воробйова Т. М., 2007).

У дослідженнях провідних фахівців у галузі фізіології та медицини, проведених на тваринах та хворих особах із тими чи іншими патологіями (цукровий діабет, онкологічні захворювання, хвороба Паркінсона, ішемічна хвороба серця, інфаркт міокарда, бронхіальна астма, захворювання ендокринної системи тощо), з'ясована роль активних форм кисню та азоту для регуляції діяльності серцево-судинної, дихальної, нервової, ендокринної, імунної систем організму, які певною мірою визначають поточний рівень його фізичної працездатності й форму адаптації до фізичних навантажень (Miles A. M., Bohle D. S., Glassbrenner P. A. et al., 1996; Сагач В. Ф., 1998; Абакумов М. М., 2005; Mollace V., Nistico G., 2005; Бродська Т. А., 2007, Богдановська Н. В., 2012, Мисаковець О. Г. та ін., 2015).

Аналіз наукових джерел засвідчив, що інтенсивність і тривалість фізичних навантажень може сприяти посиленню окисного метаболізму, що на тлі підвищення експресії ферментів антиоксидантного захисту створюють основу для формування довготривалої адаптації організму (Goto C., Higashi Y., Kimura M. et al., 2003; Gomez-Cabrera M. C., Martínez A., Santangel G. et al., 2006; Carper M. J., Zhang S., Turk J. et al., 2008; Sakellariou G. K., Vasilaki A., Palomero J. et al., 2013; McClean C., Harris R. A., Brown M. et al., 2015).

Водночас, у працях окремих фахівців (Julian D. et al., 2007; Allen D. G., Lamb G. D., Westerblad H., 2008; Гуніна Л. М., 2013) стверджується, що надмірні фізичні навантаження навпаки, можуть призводити до накопичення активних форм кисню, активних форм азоту, вичерпання пулу ендогенних антиоксидантних сполук, що загалом створює передумови для несприятливого посилення процесів перекисного окислення ліпідів.

У зв'язку з цим висловлюється припущення про ймовірну залежність між вираженістю оксидативно-нітративного стресу та загальним функціональним станом організму, а саме про домінуючу роль активних форм кисню (АФК), активних форм азоту (АФА) та процесів перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) у забезпеченні оптимальної форми адаптації організму до фізичних навантажень.

Однак наявні відомості з цього питання є дуже суперечливими через відсутність комплексних експериментальних досліджень щодо вивчення динаміки показників оксидативно-нітративного стресу в осіб з різним рівнем фізичної працездатності й, відповідно, з різною формою адаптації до фізичних навантажень. Водночас, вирішення цього питання відкриває реальні перспективи в плані розробки принципово нових підходів щодо проведення своєчасної корекції поточного функціонального стану, що має важливе значення для довготривалої підтримки високого рівня фізичної працездатності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукових досліджень кафедри медико-біологічних основ фізичної культури та спорту Запорізького національного університету в межах двох держбюджетних тем: «Розробка комплексної системи підвищення функціональної підготовленості спортсменів вищої кваліфікації на основі використання речовин антиоксидантної спрямованості» (№ державної реєстрації 0113U000806); «Розробка сучасних підходів щодо вдосконалення системи відновлювальних заходів серед спортсменів» (№ державної реєстрації 0115U000819).

Мета дослідження – вивчення ролі оксидативно-нітративного стресу у формуванні адаптації організму людини до фізичних навантажень. Для досягнення цієї мети в роботі вирішували відповідні **завдання**:

1. Провести порівняльний аналіз загального функціонального стану організму й вираженості оксидативно-нітративного стресу в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень.

2. Дослідити зміни загального функціонального стану організму в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень протягом дослідження.

3. Виявити зміни показників оксидативно-нітративного стресу в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень у зазначений період.

4. Визначити ступінь функціональної залежності між рівнем функціонального стану організму та вираженістю оксидативно-нітративного стресу в обстежених осіб.

5. На основі отриманих даних дати оцінку ролі оксидативно-нітративного стресу в процесах адаптації до фізичних навантажень.

Об'єкт дослідження – функціональний стан системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи, системи зовнішнього дихання та вираженість оксидативно-нітративного стресу тренуваних і нетренуваних осіб.

Предмет дослідження – вплив вираженості оксидативно-нітративного стресу на функціональний стан системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання осіб 18-20 років різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень.

Методи дослідження: фізіологічні, біохімічні, статистичні.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що уперше проведено комплексне обстеження практично здорових нетренуваних і тренуваних юнаків та дівчат з одночасним визначенням фізіологічних і біохімічних показників, що дало змогу оцінити роль оксидативно-нітративного стресу в процесі адаптації до фізичних навантажень.

Уперше отримано дані про важливу роль ступеня вираженості оксидативно-нітративного стресу в забезпеченні оптимального рівня фізичної працездатності, функціонального стану системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи, системи зовнішнього дихання в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень.

Уперше показано, що активація ферментативних (підвищення швидкості генерації супероксидного радикала), неферментативних (збільшення

інтенсивності генерації гідроксильного радикала) процесів генерації АФК, різноспрямовані зміни в системі синтезу оксиду азоту (підвищення активності конститутивної NO-синтази (сNOS), зниження експресії індукцибельної NO-синтази (іNOS), вмісту нітрат-аніона (NO_3^-)) та підтримка фізіологічно необхідної інтенсивності процесів ПОЛ сприяє підвищенню загальної фізичної працездатності, покращенню функціонального стану системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання.

Уперше встановлено, що значне посилення ферментативних і неферментативних механізмів генерації АФК на тлі зниження експресії сNOS, посилення окисного (за участю іNOS), неокисного аргіназного та реутилізаційного шляхів синтезу оксиду азоту може створювати передумови розвитку оксидативно-нітративного стресу, інтенсифікації процесів ПОЛ, зниження загальної фізичної працездатності, зменшення максимального споживання кисню, погіршення функціонального стану системи енергозабезпечення (зменшення алактатної і лактатної потужності та ємності), серцево-судинної системи (збільшення кінцево-сistolічного та зменшення кінцево-діастолічного об'єму серця, фракції викиду крові) й системи зовнішнього дихання (зменшення максимальної вентиляції легень).

Уперше наведено кількісні значення показників, що характеризують ступінь вираженості оксидативно-нітративного стресу і забезпечують оптимальний рівень фізичної працездатності, функціонального стану системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані під час дослідження дані складають основу для розробки комплексу корекційних заходів, спрямованих на оптимізацію функціонального стану організму в процесі його адаптації до систематичних фізичних навантажень. Виявлено періоди суттєвого зниження функціонального стану вивчених фізіологічних систем в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень, що дозволяє своєчасно здійснювати застосування корегувальних заходів щодо забезпечення необхідного рівня фізичної працездатності.

Матеріали дослідження використовуються в навчальному процесі під час підготовки фахівців із фізіології спорту у Запорізькому національному університеті, Національному університеті фізичного виховання та спорту України, Херсонському державному університеті, Черкаському національному університеті ім. Б. Хмельницького (Навчально-науковий інститут фізичної культури, спорту і здоров'я), а також у навчально-тренувальному процесі команд з ігрових видів спорту вищої ліги м. Запоріжжя, про що є відповідні акти впровадження.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно здійснено підбір і аналіз літературних даних, виконано дослідницьку частину роботи, обробку отриманих результатів. Ультразвукове обстеження серця виконано разом з кандидатом медичних наук, доцентом кафедри терапії, клінічної фармакології та ендокринології Запорізької державної медичної академії післядипломної освіти О. І. Паламарчуком. Біохімічні дослідження проведено спільно із кандидатом біологічних наук, старшим науковим співробітником А. В. Коцюрбою.

У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать експериментальна частина, обробка результатів і деякі теоретичні положення. Під час проведення дослідницької частини роботи керувались загальноприйнятими світовими та вітчизняними нормами відповідно до Директив ЄС № 609 від 24.11.1986 р., Good Clinical Practice (10.06.1996 р.), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (04.04.1997 р.), Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження» (01.10.2008 р.) і наказу МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати досліджень оприлюднено на V Міжнародній електронній науково-практичній конференції «Психологічні, педагогічні і медико-біологічні аспекти фізичного виховання» (Одеса, 2014); VII Міжнародній науковій конференції, присвяченій 180-річчю Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та 120-річчю від дня народження А. І. Ємченка «Психофізіологічні та вісцеральні функції в нормі і патології» (Київ, 2014); X Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 95-річчю створення кафедри біології і основ здоров'я ПНПУ ім. К. Д. Ушинського «Адаптаційні можливості дітей та молоді» (Одеса, 2014); International Interdisciplinary Conference «Adaptation Strategy of the Living Systems» (Novy Svet, 2014); I Республіканській науково-практичній інтернет-конференції з міжнародною участю «Специфические и неспецифические механизмы адаптации при стрессе и физической нагрузке» (Гомель, 2014); Науково-практичній конференції з міжнародною участю «Актуальные проблемы медицинской реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины» (Самарканд, 2014); VII Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Фізична культура, спорт та фізична реабілітація в сучасному суспільстві» (Вінниця, 2014); V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Індивідуальні психофізіологічні особливості людини та професійна діяльність» (Київ, 2014); IX Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Дидактико-методичні аспекти фізичної культури» (Херсон, 2015); Університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука» (Запоріжжя, 2012-2015); XI Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології» (Львів, 2015); Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи співпраці в рамках регіональних технологічних платформ» (Запоріжжя, 2015).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 22 наукові праці, із яких 5 – статті у фахових виданнях України та 2 – у закордонних виданнях, 13 – тези доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях. Отримано 1 патент на винахід та 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, списку використаних джерел, літератури (217 найменувань, із них 129 іноземною мовою) та додатків. У роботі представлені фактичні матеріали в 70 таблицях та на 3 рисунках. Загальний обсяг дисертаційної роботи 164 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Матеріали та методи дослідження. У межах дослідження обстежено 126 практично здорових дівчат та юнаків віком 18-20 років з різною формою адаптації до фізичних навантажень (нетреновані та тренувані). Усі учасники дослідження були розподілені на дві групи. Контрольну групу становили 34 дівчини та 29 юнаків з режимом рухової активності у вигляді дворазових щотижневих занять фізичною культурою у вищому навчальному закладі. До основної групи увійшли 32 дівчини та 31 юнак за стажем занять ігровими видами спорту 8-10 років; режим фізичних навантажень – згідно з навчально-тренувальним планом спортивних команд.

Дослідження проходило в чотири етапи (з 2012 по 2016 рік). На першому етапі (2012-2013 рр.) здійснено аналіз науково-методичної літератури з дослідженої проблеми; проведено пошук і відбір методів дослідження; визначено контингент обстежуваних осіб. На другому етапі (2013-2014 рр.) у досліджуваних протягом 10 місяців визначали фізіологічні та біохімічні показники. Реєстрацію всіх показників проводили тричі: у представників контрольної групи на початку, в середині та наприкінці навчального року; у представників основної групи – на початку, в середині та наприкінці річного навчально-тренувального циклу підготовки, що включав тренувальні та змагальні навантаження. На третьому етапі (2014-2015 рр.) проаналізовано взаємозв'язок між фізіологічними та біохімічними показниками, здійснено обробку і опис отриманих результатів. На четвертому етапі (2015-2016 рр.) здійснено пошук фізіологічних механізмів впливу вираженості оксидативно-нітративного стресу на загальний функціональний стан організму, сформульовано висновки і оформлено дисертаційну роботу.

Оцінку функціонального стану системи енергозабезпечення проводили на основі даних, отриманих із використанням традиційного субмаксимального тесту PWC_{170} [Карпман В. Л., 1988] на велоергометрі «Полар», розраховуючи відносні величини загальної фізичної працездатності ($VPWC_{170}$, $кгм \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$), максимального споживання кисню ($VMCK$, $л \cdot хв^{-1} \cdot кг^{-1}$), значення алактатної та лактатної потужності ($АЛАКп$, $вт \cdot кг^{-1}$; $ЛАКп$, $вт \cdot кг^{-1}$), алактатної та лактатної ємності ($АЛАКє$, %; $ЛАКє$, %), порога анаеробного обміну (ПАНО, % від значень MCK).

Оцінку функціонального стану серцево-судинної системи здійснювали, визначаючи загальний периферичний опір судин ($ЗПОС$, $дин^2 \cdot с \cdot см^{-5}$), систолічний ($СОК$, мл) і хвилинний ($ХОК$, $л \cdot хв^{-1}$) об'єми крові на основі даних реографії (автоматизований діагностичний комплекс «Кардіо+»), а також оцінюючи кінцево-систолічний ($КСО$, мл) і кінцево-діастолічний ($КДО$, мл) об'єми серця, величину фракції викиду крові ($ФВ$, %) з використанням ехокардіографії (ультразвуковий сканер фірми Siemens з високочастотним давачем 2.5 MHz).

Оцінку функціонального стану системи зовнішнього дихання проводили, визначаючи величини максимальної вентиляції легень ($МВЛ$, $л \cdot хв^{-1}$), резервного об'єму вдиху ($РОВд$, л) і видиху ($РОВид$, л) на основі даних спірографії (спірограф $MAC2-C$).

Вираженість оксидативного стресу оцінювали за вмістом у плазмі крові маркерів різних шляхів генерації супероксидного радикала, та рівнями генерації активних форм кисню. Визначали: активність циклооксигеназної (ЦОГ) та ліпоксигеназної (ЛОГ) реакцій за вмістом тромбоксану B_2 (TxB_2 , пмоль mg^{-1} білка) та лейкотрієну C_4 (LtC_4 , пмоль mg^{-1} білка) за допомогою радіоімунного методу, а також вільної арахідонової кислоти (АА, нмоль mg^{-1} білка) [Гаврилов В. Б., 1988]; активність ксантиноксидазної (ХО) реакції за вмістом сумарних продуктів деградації аденін- і гуаніннуклеотидів (E_{254} , нмоль mg^{-1} білка) [Островський Ю. М., 1969] і сечової кислоти (UA, нмоль mg^{-1} білка), за допомогою добірки реактивів фірми «Філісіт-Діагностика» (м. Дніпро, Україна); швидкість генерації супероксидного радикала ($*O_2$, у.о.) [McCord J., Fridovich I. A., 1982] та показників реакції Фентона: швидкість генерації гідроксильного радикала ($*OH$, у.о.) [Conte D., 1996], вміст пероксиду водню (H_2O_2 , пмоль mg^{-1} білка) [Huwiler M., 1984] та негемового заліза (Fe, пмоль mg^{-1} білка) з використанням набору реактивів фірми «Філісіт-Діагностика» (м. Дніпро, Україна).

Вираженість нітративного стресу визначали в плазмі крові за показниками, що характеризують стан системи синтезу оксиду азоту (NO). Оцінювали інтенсивність окисної деградації L-аргініну за активностями конститутивних синтаз NO (cNOS=eNOS+iNOS, пмоль $hV^{-1} \cdot mg^{-1}$ білка) та індукцйбельної синтази NO (iNOS, пмоль $hV^{-1} \cdot mg^{-1}$ білка) використовуючи комбінацію класичного методу [Salter M., 1991] та його сучасну модифікацію [Chin S. Y., 1999]; інтенсивність реутилізаційного механізму синтезу NO визначали за активністю нітрат-редуктази (N-Ред, нмоль $hV^{-1} \cdot mg^{-1}$ білка) [Алікулов З. А., 1980]; інтенсивність неокисної деградації L-аргініну встановлювали за активністю аргінази (Arg, нмоль $hV^{-1} \cdot mg^{-1}$ білка) [Шугалей В. С., 1977]; також визначали вміст нітрат-аніона (NO_3^- , нмоль mg^{-1} білка) [Алікулов З. А., 1980].

Інтенсивність перекисного окислення ліпідів оцінювали в плазмі крові за вмістом дієнових кон'югатів (ДК, нг mg^{-1} білка) [Гаврилов В. Б., 1988] і ТБК-активних продуктів (ТБК-АП, нмоль mg^{-1} білка) [Uchiyama M., 1978].

Вміст білка у плазмі крові оцінювали за методом [Lowry O. et al., 1955].

Отримані результати статистично опрацьовували з використанням пакетів прикладних програм *Excel* і «*Statistica 7.0*». Оцінювали середнє арифметичне (M), середньоквадратичне відхилення (δ), помилку середньої арифметичної (m). Достовірність змін встановлювали за t-критерієм Ст'юдента і U-критерієм Манна-Уїтні (залежно від характеру розподілу експериментальних даних); розраховували коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона (r).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На початку дослідження тренуваним особам, незалежно від статі, закономірно був притаманний більш оптимальний функціональний стан системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання (табл. 1). Перевага в обстежених тренуваних осіб над нетренуваними за показниками системи енергозабезпечення в дівчат становила від 15,02 до 49,72%, а у юнаків – від 25,25 до 102,30%; за показниками серцево-судинної системи – відповідно 26,19÷31,70% та 16,14÷18,97%, і за показниками системи зовнішнього дихання – 11,90÷32,50% та 8,45÷69,83%. Аналогічне відсоткове

співвідношення зберігалося і при порівнянні цих показників на інших етапах дослідження (середина та його завершення), що свідчить про сформованість у тренуваних осіб стійких адаптивних змін у вивчених фізіологічних системах.

Збільшення потужності системи енергозабезпечення, економізація функціонування серцево-судинної та системи зовнішнього дихання закономірно пов'язані з метаболічними перебудовами, що відбуваються в тренуваному організмі. Отримані дані й аналіз літератури з проблеми дослідження дав змогу зробити припущення, що одним із важливих факторів, який сприяє підвищенню фізичної працездатності, може бути вираженість оксидативно-нітративного стресу. Для експериментальної перевірки цієї гіпотези нами був проведений порівняльний аналіз показників, які його характеризують, у всіх обстежених осіб.

Таблиця 1

Показники системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання на початку дослідження (M±m)

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетренувані	тренувані	нетренувані	тренувані
ВРWC $\text{кгм}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$	15,60±0,29	23,35±0,53***	16,10±0,23	27,86±1,06***
ВМСК, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$	51,76±0,81	59,54±0,96***	48,62±0,61	60,89±1,82***
АЛАКп, $\text{Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$	5,52±0,07	6,77±0,13***	5,20±0,07	10,51±0,35***
АЛАКє, %	32,39±0,43	41,84±0,61***	29,95±0,30	58,92±2,09***
ЛАКп, $\text{Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$	3,87±0,04	4,86±0,09***	3,77±0,01	6,69±0,19***
ЛАКє, %	23,70±0,28	29,09±0,46***	22,83±0,05	42,49±1,09***
ПАНО, %	48,20±0,20	60,48±0,33***	41,27±0,33	61,71±0,86***
ЗПОС, $\text{дин}^2\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$	1760,59±51,23	1299,49±41,60***	2261,55±37,03	1896,45±35,17***
СОК, мл	50,71±1,87	66,78±0,98***	59,06±1,93	70,26±1,08***
ХОК, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$	3,33±0,10	4,13±0,05***	3,93±0,13	4,28±0,07*
КСО, мл	50,58±0,5	42,73±0,46***	48,58±0,52	42,27±0,30***
КДО, мл	103,31±1,41	109,15±0,66***	106,80±1,51	112,20±0,85**
ФВ, %	48,61±1,18	61,15±0,68***	54,06±1,11	62,22±0,51***
МВЛ, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$	88,33±1,19	117,03±2,06***	93,58±1,06	158,93±3,68***
РОВд, л	1,46±0,05	1,62±0,02**	1,65±0,02	1,79±0,02***
РОВид, л	1,10±0,02	1,23±0,01***	1,26±0,01	1,45±0,02***

Примітка: ВРWC₁₇₀ – відносне значення загальної фізичної працездатності; ВМСК – відносне значення максимального споживання кисню; АЛАКп – алактатна потужність; АЛАКє – алактатна ємність; ЛАКп – лактатна потужність; ЛАКє – лактатна ємність; ПАНО – поріг анаеробного обміну; ЗПОС – загальний периферичний опір судин; СОК – систолічний об'єм крові; ХОК – хвилинний об'єм крові; КСО – кінцево-систолічний об'єм серця; КДО – кінцево-діастолічний об'єм серця; ФВ – фракція викиду крові; МВЛ – максимальна вентиляція легень; РОВд – резервний об'єм вдиху; РОВид – резервний об'єм видиху; тут і далі * – p<0,05, ** – p<0,01, *** – p<0,001, порівняно з нетренуваними особами.

Результати дослідження вказують на перевагу тренуваних осіб над нетренуваними за показниками оксидативно-нітративного стресу (табл. 2), зокрема, за вмістом маркерів різних шляхів генерації АФК (у дівчат 53,99÷222,85% та у юнаків 35,10÷262,26%), показниками рівнів генерації АФК (82,30÷228,64% і 92,79÷610,51% відповідно); за показниками системи синтезу оксиду азоту (-34,97÷71,52% та -29,80÷106,62%); показниками ПОЛ (181,50÷198,80% та 254,64÷309,13%). Достовірна відмінність біохімічних показників нетренуваних і тренуваних осіб зберігалася також у середині й у кінці дослідження.

Отримані дані дають підставу стверджувати, що підтримка функціонального стану вивчених фізіологічних систем на більш високому рівні в тренуваних осіб

досягається, по-перше, за рахунок зростання швидкості генерації супероксидного радикала внаслідок активізації ЦОГ, ЛОГ та ХО, по-друге, підвищення швидкості утворення гідроксильного радикала шляхом активації реакції Фентона, по-третє, різноспрямованих змін у системі синтезу оксиду азоту (зокрема, підвищення активності окисного шляху утворення за участю cNOS і зниження експресії iNOS), по-четверте, внаслідок підтримки оптимальної інтенсивності перекисного окислення ліпідів.

Відповідно до поставлених завдань було проведено вивчення динаміки показників загального функціонального стану організму дівчат та юнаків 18-20 років в нетренованих протягом навчального року і тренуваних протягом річного навчально-тренувального циклу.

Таблиця 2

Показники оксидативно-нітративного стресу та перекисного окислення ліпідів на початку дослідження (M±m)

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані	тренувани	нетреновані	тренувани
AA, нмоль·мг ⁻¹ білка	9,45±0,28	17,10±0,45***	11,13±0,36	15,03±0,66***
TxB ₂ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,59±0,06	4,33±0,15***	1,73±0,08	5,23±0,19***
LtC ₄ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,44±0,06	3,23±0,05***	1,40±0,08	4,26±0,18***
E ₂₅₄ , нмоль·мг ⁻¹ білка	1,59±0,08	5,12±0,15***	1,83±0,07	6,63±0,31***
UA, нмоль·мг ⁻¹ білка	2,79±0,09	4,30±0,22***	3,14±0,15	7,27±0,36***
*O ₂ , у.о.	1,51±0,07	3,10±0,12***	1,91±0,09	5,15±0,23***
*OH, у.о.	2,17±0,12	7,12±0,26***	1,21±0,03	8,56±0,42***
H ₂ O ₂ , пмоль·мг ⁻¹ білка	2,02±0,09	5,07±0,19***	3,11±0,13	6,02±0,15***
Fe, пмоль·мг ⁻¹ білка	2,36±0,08	4,30±0,14***	2,20±0,07	4,24±0,19***
cNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	26,54±0,50	45,52±1,74***	35,06±1,21	72,44±2,12***
iNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	8,79±0,55	8,06±0,45	9,69±0,36	6,80±0,45***
H-Ред, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	4,20±0,18	4,16±0,02	4,52±0,16	4,84±0,18
Арг, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	1,37±0,03	1,32±0,02	1,78±0,06	1,59±0,09
NO ₃ ⁻ , нмоль·мг ⁻¹ білка	8,97±0,31	5,83±0,19***	10,15±0,27	7,74±0,19***
ДК, нг·мг ⁻¹ білка	2,19±0,12	6,54±0,28***	2,76±0,12	11,28±0,55***
ТБК-АП, нмоль·мг ⁻¹ білка	16,70±0,70	47,02±2,04***	14,40±0,52	51,06±1,68***

Примітка: AA – арахідонова кислота; TxB₂ – тромбосан B₂; LtC₄ – лейкотрієн C₄; E₂₅₄ – сумарні продукти деградації аденін- і гуаніннуклеотидів; UA – сечова кислота, *O₂ – швидкість генерації супероксидного радикала; *OH – швидкість генерації гідроксильного радикала; H₂O₂ – перекис водню; Fe – негемове залізо, у.о. – умовні одиниці, cNOS – конститутивна NO-синтаза; iNOS – індукційна NO-синтаза; H-Ред – нітрат-редуктаза; Арг – аргіназа; NO₃⁻ – нітрат-аніон, ДК – дієнові кон'югати; ТБК-АП – ТБК-активні продукти.

У всіх обстежених дівчат і юнаків наприкінці дослідження зафіксовано односпрямовані негативні зміни показників системи енергозабезпечення, більш виражені саме в тренуваних осіб (табл. 3). Так, спостерігалось зниження величин загальної фізичної працездатності у нетренованих дівчат на 11,01% (p>0,05) та юнаків на 10,69% (p<0,001) і у тренуваних – на 16,62% та на 21,42% (p<0,001) відповідно, максимального споживання кисню – на 8,09%, 8,12% і на 10,28%, 16,83% (p<0,001), алактатної потужності – на 11,92%, 9,44% і на 10,85%, 25,61% (p<0,001) і ємності – на 8,60% (p<0,05), 3,04% (p<0,001) і на 14,93%, 17,98% (p<0,001), лактатної потужності – на 5,69% (p<0,05), 19,03% (p<0,001) і на 11,08%, 17,33% (p<0,001) і ємності – на 5,17% (p<0,05), 18,01% (p<0,001) і на 13,21%, 23,64% (p<0,001) та величини порога анаеробного обміну – на 4,54% (p<0,001), 3,40% (p<0,01) і на 9,05%, 10,81% (p<0,001).

Зазначені зміни збігалися з негативною динамікою у функціональному стані серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання усіх обстежених, і так само були більш вираженими в тренуваних осіб. Встановлено (див. табл. 3), що до завершення навчального року в нетренуваних дівчат спостерігалось несприятливе зростання кінцево-систоличного об'єму серця на 8,82% ($p < 0,001$) від початкового рівня, зниження фракції викиду крові на 8,01% ($p < 0,05$), максимальної вентиляції легень на 7,84% ($p < 0,001$), резервного об'єму видиху на 7,51% ($p < 0,01$). У нетренуваних юнаків констатовано несприятливе зростання загального периферичного опору судин на 7,26% ($p < 0,001$) від початкового рівня, зниження кінцево-діастолічного об'єму серця на 5,47% ($p < 0,01$), фракції викиду крові на 7,62% ($p < 0,05$), максимальної вентиляції легень на 4,52% ($p < 0,05$), резервних об'ємів вдиху і видиху на 8,26% і 9,21% ($p < 0,001$) відповідно.

Таблиця 3

Показники системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання наприкінці дослідження ($M \pm m$)

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетренувані	тренувані	нетренувані	тренувані
ВРВС $\text{кгм} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$	13,88 \pm 0,28	19,47 \pm 0,34***	14,38 \pm 0,29 ^{ooo}	21,90 \pm 0,56***
ВМСК, $\text{л} \cdot \text{хв}^{-1} \cdot \text{кг}^{-1}$	47,57 \pm 0,78 ^{ooo}	53,41 \pm 0,67***	44,67 \pm 0,75 ^{ooo}	50,64 \pm 0,98***
АЛАКп, $\text{Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$	4,86 \pm 0,07 ^{ooo}	6,03 \pm 0,04***	4,71 \pm 0,05 ^{ooo}	7,82 \pm 0,28***
АЛАКс, %	29,60 \pm 0,44 ^{ooo}	35,59 \pm 0,23***	29,04 \pm 0,30 ^o	48,33 \pm 1,75***
ЛАКп, $\text{Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$	3,65 \pm 0,07 ^o	4,32 \pm 0,04***	3,05 \pm 0,04 ^{ooo}	5,53 \pm 0,19***
ЛАКс, %	22,48 \pm 0,37 ^o	25,24 \pm 0,21***	18,72 \pm 0,23 ^{ooo}	32,44 \pm 1,00***
ПАНО, %	46,02 \pm 0,22 ^{ooo}	55,01 \pm 0,09***	39,87 \pm 0,30 ^{oo}	55,04 \pm 0,91***
ЗПОС, $\text{дин}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-5}$	1846,04 \pm 46,30	1581,97 \pm 52,91***	2425,67 \pm 23,09 ^{ooo}	2206,9 \pm 38,15***
СОК, мл	45,48 \pm 1,88	56,72 \pm 1,01***	52,47 \pm 1,71	61,29 \pm 0,74***
ХОК, $\text{л} \cdot \text{хв}^{-1}$	3,03 \pm 0,12	3,55 \pm 0,05***	3,51 \pm 0,13	3,70 \pm 0,05***
КСО, мл	55,05 \pm 0,56 ^{ooo}	48,64 \pm 0,56***	50,04 \pm 0,55	43,77 \pm 0,22***
КДО, мл	100,53 \pm 1,45	104,55 \pm 0,64***	100,96 \pm 1,44 ^{oo}	104,61 \pm 0,59***
ФВ, %	44,71 \pm 1,25 ^o	53,76 \pm 0,76***	49,94 \pm 1,22 ^o	58,09 \pm 0,42***
МВЛ, $\text{л} \cdot \text{хв}^{-1}$	81,40 \pm 1,17 ^{ooo}	107,16 \pm 2,63**	89,35 \pm 1,51 ^o	140,47 \pm 3,23***
РОВд, л	1,37 \pm 0,04	1,46 \pm 0,01***	1,52 \pm 0,02 ^{ooo}	1,58 \pm 0,02***
РОВид, л	1,01 \pm 0,02 ^{oo}	1,14 \pm 0,02***	1,15 \pm 0,01 ^{ooo}	1,28 \pm 0,02***

Примітка: тут і далі ^o – $p < 0,05$, ^{oo} – $p < 0,01$, ^{ooo} – $p < 0,001$ порівняно з початком дослідження для нетренуваних осіб; * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з початком дослідження для тренуваних осіб.

Аналогічні, проте більш виражені негативні зміни в показниках серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання зареєстровано наприкінці річного навчально-тренувального циклу в тренуваних осіб. Для них характерне зростання загального периферичного опору судин у дівчат на 21,74%, а у юнаків – на 16,37% ($p < 0,001$) і кінцево-систоличного об'єму серця на 13,84%; 3,56% ($p < 0,001$) відповідно, а також зниження систолічного (на 15,07%; 12,78% ($p < 0,001$)) і хвилинного (на 13,94%; 13,59% ($p < 0,001$)) об'ємів крові, кінцево-діастолічного об'єму серця – на 4,21%; 6,77% ($p < 0,001$), фракції викиду крові – на 12,08%; 6,64% ($p < 0,001$), максимальної вентиляції легень – на 8,44% ($p < 0,01$); 11,61% ($p < 0,001$), резервних об'ємів вдиху (на 10,00%; 12,17% ($p < 0,001$)) і видиху (на 12,81%; 11,85% ($p < 0,001$)).

Отже, незалежно від статі й форми адаптації до фізичних навантажень, у всіх осіб відбувалися односпрямовані несприятливі зміни, представлені для нетренованих дівчат і юнаків природним незначним зниженням загального функціонального стану організму протягом навчального року та його істотним погіршенням у тренуваних осіб у динаміці річного навчально-тренувального циклу, що включає у себе і тренувальні (фізичні), і змагальні (фізичні та психоемоційні) навантаження, які можна розглядати як надпорогові для організму.

Для визначення ступеня вираженості оксидативно-нітративного стресу у процесі адаптації до фізичних навантажень, нами також було вивчено динаміку отриманих біохімічних показників. Наведені в табл. 4 результати дають підставу констатувати, що природне зниження функціонального стану вивчених фізіологічних систем у нетренованих осіб наприкінці навчального року збіглося зі змінами показників, які характеризують вираженість *оксидативного стресу*, зокрема, зростання швидкості генерації супероксидного радикала у дівчат на 22,04% ($p < 0,01$) і у юнаків на 18,58% ($p < 0,05$) унаслідок активації ЛОГ (лише для дівчат) та ЦОГ (для всіх) та підвищення швидкості генерації гідроксильного радикала на 27,74% ($p < 0,01$); 16,80% ($p < 0,001$) за рахунок активації реакції Фентона, а також *нітративного стресу*, відображеного зниженням експресії cNOS на 12,70% ($p < 0,001$); 10,23% ($p < 0,05$), що у сукупності спричинило збільшення вмісту продуктів ПОЛ, і первинних – на 23,89%; 14,62% ($p < 0,05$), і кінцевих – на 21,64% ($p < 0,01$); 14,03% ($p < 0,05$).

Результати, отримані при обстеженні тренуваних осіб (див. табл. 4) дали змогу констатувати, що впродовж річного навчально-тренувального циклу несприятливе, істотне зниження загальної фізичної працездатності (зменшення ВМСК), погіршення функціонального стану системи енергозабезпечення (зменшення величин АЛКп(ε), ЛКп(ε)), серцево-судинної системи (збільшення КСО, і зменшення КДО, ФВ) та системи зовнішнього дихання (зменшення МВЛ) відбувалося на тлі значного, більш вираженого, ніж у нетренованих осіб, розвитку *оксидативного стресу*, представленого, по-перше, зростанням швидкості генерації супероксидного радикала в дівчат на 110,75% і у юнаків на 91,77% ($p < 0,001$) за рахунок активації не лише ліпоксигеназної та циклооксигеназної, але, на відміну від нетренованих осіб, і ксантинооксидазної реакції; а по-друге, збільшенням швидкості утворення гідроксильного радикала на 97,02%; 109,78% ($p < 0,001$) внаслідок активації реакції Фентона, а також зростанням ступеню вираженості *нітративного стресу*, спричиненого різноспрямованими достовірними змінами в системі синтезу NO.

Зокрема, нами встановлено: по-перше, підвищення активності неокислювального шляху деградації L-аргініну за участю аргінази у тренуваних дівчат на 26,35% ($p < 0,001$), у юнаків – на 20,33% ($p < 0,05$), що, ймовірно, спричинило зниження інтенсивності окисного шляху синтезу NO за участю cNOS на 16,98% ($p < 0,01$); 15,61% ($p < 0,001$), яка конкурує з аргіназою за спільний субстрат; по-друге, констатоване збільшення інтенсивності реутилізаційного синтезу NO на 33,80%; 24,46% ($p < 0,001$); по-третє, зростання експресії iNOS на 20,87% ($p < 0,05$); 33,27% ($p < 0,001$), що разом із посиленням ферментативних і неферментативних реакцій утворення АФК спричинило не тільки підвищення вмісту нітрат-аніону на 31,81%; 32,79% ($p < 0,001$), який є маркером утворення пероксинітриту і його нерадикального розпаду, але й значної інтенсифікації процесів *перекисного окислення ліпідів*, підтвердженої збільшенням вмісту первинних – на 67,98%; 50,41% та кінцевих – на 70,79%; 55,17% ($p < 0,001$) його продуктів.

Показники оксидативно-нітративного стресу та перекисного окислення ліпідів наприкінці дослідження (M±m)

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані	треновані	нетреновані	треновані
AA, нмоль·мг ⁻¹ білка	10,55±0,38°	21,66±0,60***	12,29±0,39°	23,03±1,00***
TxB ₂ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,81±0,08°	5,86±0,21***	1,99±0,09°	7,58±0,28***
LtC ₄ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,65±0,08°	4,27±0,07***	1,61±0,09	6,22±0,27***
E ₂₅₄ , нмоль·мг ⁻¹ білка	1,80±0,09	7,68±0,23***	2,07±0,08°	8,69±0,41***
UA, нмоль·мг ⁻¹ білка	3,08±0,11	6,53±0,33***	3,47±0,17	9,29±0,46**
*O ₂ , у.о.	1,84±0,08°°	6,54±0,28***	2,26±0,10°	9,87±0,45***
*OH, у.о.	2,77±0,15°°	14,04±0,55***	1,41±0,04°°°	17,95±0,89***
H ₂ O ₂ , пмоль·мг ⁻¹ білка	2,58±0,11°°°	9,57±0,35***	3,68±0,16°°	7,77±0,21***
Fe, пмоль·мг ⁻¹ білка	2,79±0,10°°	6,47±0,24***	2,50±0,08°°	5,93±0,27***
cNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	23,17±0,47°°°	37,79±1,50**	31,48±1,09°	61,16±1,79***
iNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	10,00±0,34	9,75±0,51•	11,20±0,39	9,43±0,35***
Н-Ред, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	4,54±0,20	5,63±0,02***	4,91±0,18	6,02±0,23***
Арг, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	1,46±0,04	1,67±0,03***	1,96±0,07	1,92±0,11•
NO ₃ ⁻ , нмоль·мг ⁻¹ білка	9,87±0,34	7,67±0,25***	10,91±0,26	10,27±0,26***
ДК, нг·мг ⁻¹ білка	2,66±0,15°	11,17±0,50***	3,15±0,14°	17,47±0,87***
ТБК-АП, нмоль·мг ⁻¹ білка	20,69±0,88°°	78,99±3,38***	16,54±0,61°	76,60±2,56***

Отже, отримані дані повністю доводять метаболічні та фізіологічні перебудови, що відбуваються в організмі людини під час виконання систематичних фізичних навантажень, а саме більш виражений перебіг оксидативно-нітративного стресу й суттєві зміни у функціональному стані систем енергозабезпечення, серцево-судинної та зовнішнього дихання.

Для детальнішого вивчення отриманих результатів і з'ясування ступеня впливу оксидативно-нітративного стресу на функціональний стан організму нами додатково проведено кореляційний аналіз, який визначатиме характер взаємозв'язку між фізіологічними та біохімічними показниками.

У зв'язку з тим, що МСК є інтегральною величиною, яка, на думку фахівців, з фізіології спорту [Карпман В. Л., 1988; Wilmore J., Costill D., 2001], характеризує рівень тренуваності організму, то саме між цим показником ми визначали залежність з величинами інших параметрів функціонального стану організму, оксидативно-нітративного стресу та перекисного окислення ліпідів.

Величини коефіцієнтів кореляції вМСК з показниками системи енергозабезпечення становили від +0,30 до +0,82 для нетренованих і від +0,30 до +0,84 для тренуваних осіб, з показниками серцево-судинної системи – від -0,86 до +0,75 і від -0,82 до +0,80 відповідно, а з показниками системи зовнішнього дихання – від +0,43 до +0,75 і від +0,60 до +0,77 (рис. 1, а, б).

Аналіз коефіцієнтів кореляції, визначених у нетренованих і тренуваних осіб різної статі між величиною вМСК і показниками оксидативно-нітративного стресу та ПОЛ, дав змогу констатувати наявність кореляційної залежності із вмістом маркерів різних шляхів генерації супероксидного радикала в межах від -0,43 до -0,36 для нетренованих і від -0,84 до -0,40 для тренуваних осіб; із рівнями генерації АФК від -0,49 до -0,33 і від -0,83 до -0,51 відповідно, з показниками системи синтезу оксиду азоту від -0,59 до +0,59 і від -0,86 до +0,84, та з вмістом продуктів ПОЛ від -0,58 до -0,33 і від -0,84 до -0,70 (рис. 1, в, г).

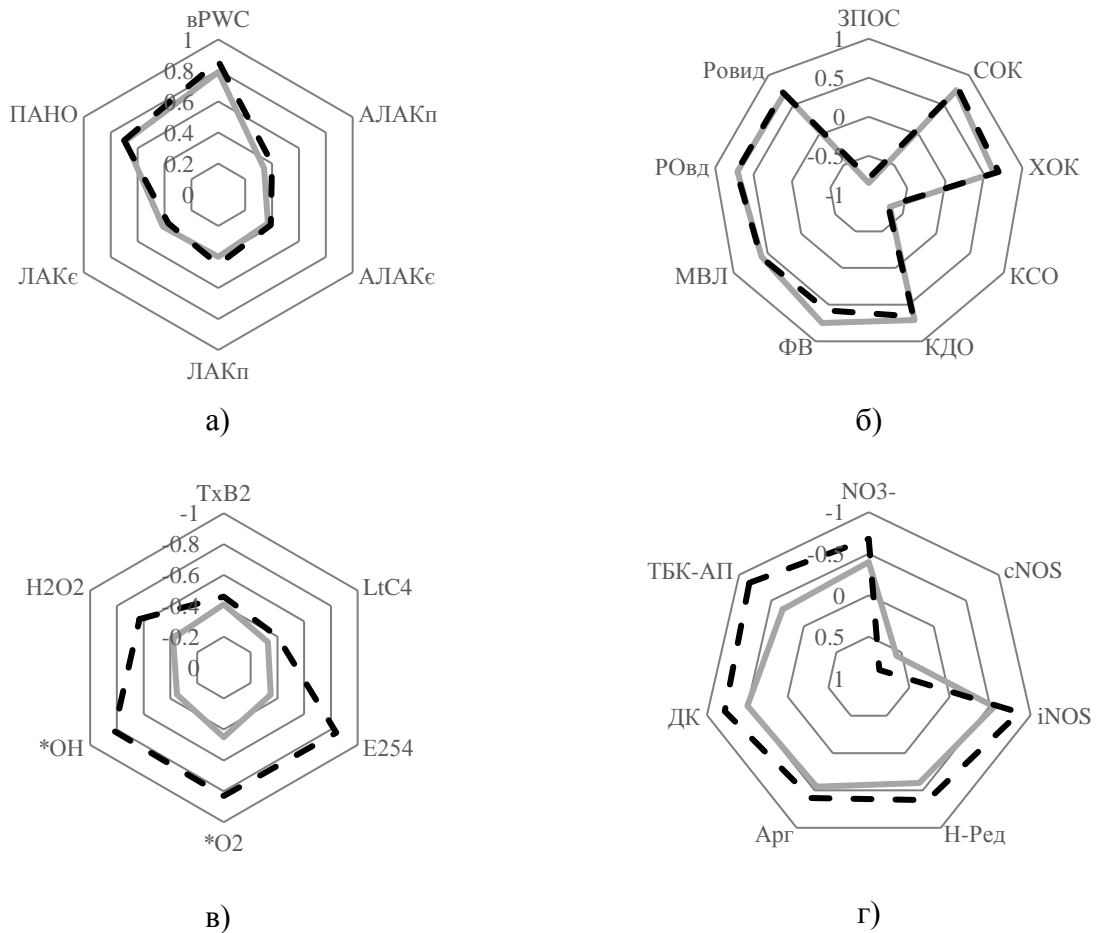


Рис. 1. Коефіцієнти кореляції між величиною ВМСК і показниками:
 а) – системи енергозабезпечення;
 б) – серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання;
 в) – оксидативного стресу;
 г) – нітративного стресу та ПОЛ.

Примітка:

- треновані особи
- нетреновані особи

Встановлена висока кореляційна залежність зберігалася протягом усього періоду дослідження, у всіх обстежених осіб, незалежно від статі та форми адаптації організму до фізичних навантажень, але була більш вираженою в тренованих осіб.

Отже, отримані результати переконливо доводять наявність зв'язку між загальним функціональним станом організму та вираженістю оксидативно-нітративного стресу, а також дають змогу констатувати важливу роль АФК, АФА та ПОЛ у забезпеченні оптимального функціонування фізіологічних систем, залежно від виду й інтенсивності фізичних навантажень. Результати дослідження дали нам змогу встановити ймовірний фізіологічний механізм взаємозв'язку оксидативно-нітративного стресу з функціональним станом організму (рис. 2).

Доведено, що збільшення активності різних шляхів утворення активних форм кисню (ферментативних і неферментативних), різноспрямовані зміни в системі синтезу оксиду азоту та підтримка інтенсивності процесів перекисного окислення ліпідів на рівні, що відповідає поточним потребам організму, є важливою передумовою підвищення функціонального стану організму в процесі виконання систематичних фізичних навантажень.

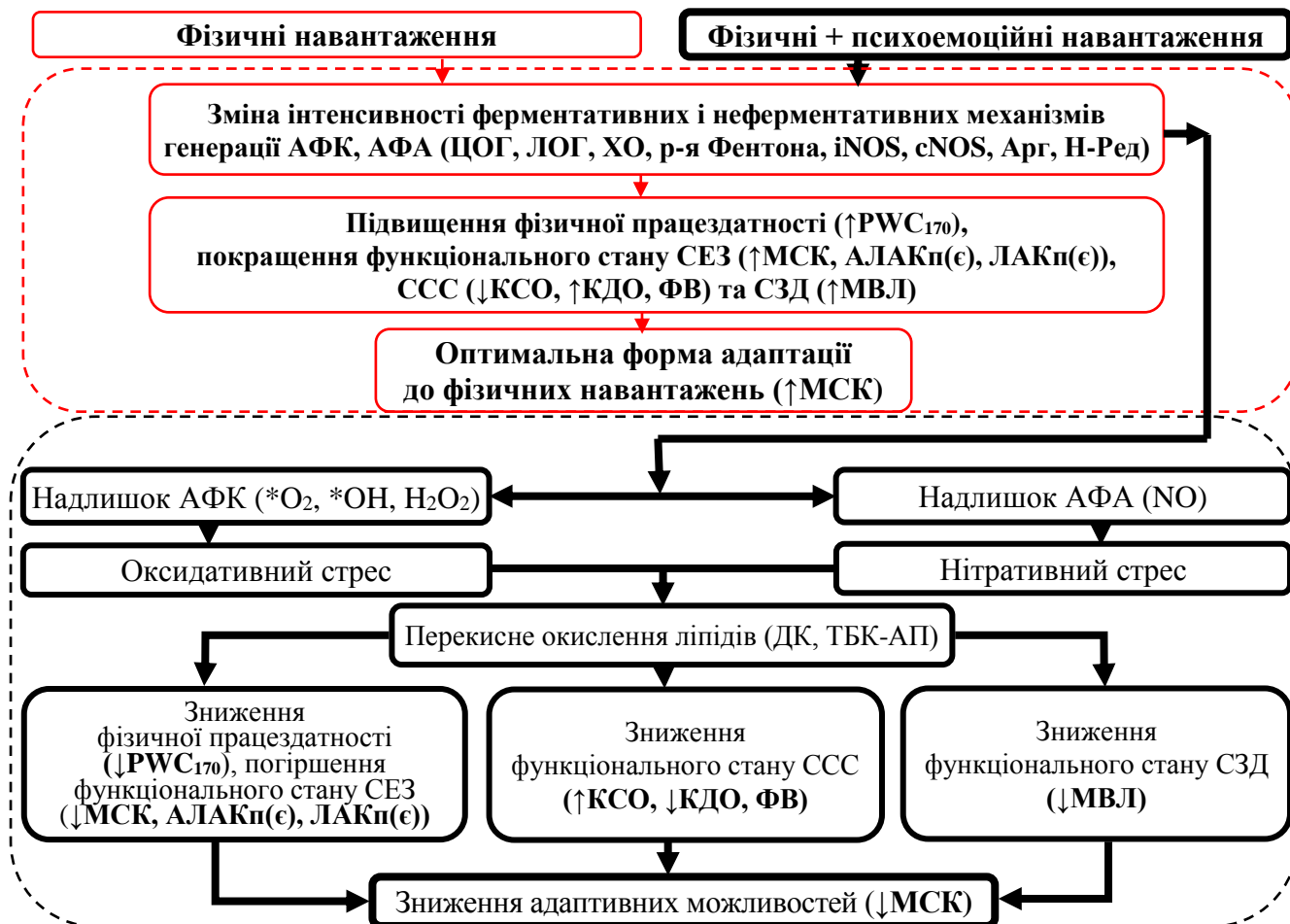


Рис. 2. Імовірний механізм взаємозв'язку оксидативно-нітративного стресу з функціональним станом організму.

Виявлено, що фізичні навантаження в динаміці навчально-тренувального циклу закономірно сприяють зниженню функціонального стану досліджених фізіологічних систем через розвиток оксидативно-нітративного стресу.

Загалом надані матеріали дисертаційної роботи є суттєвим доповненням до існуючих теоретичних відомостей щодо фізіологічної ролі АФК, АФА та процесів ПОЛ в організмі, зокрема, осіб 18-20 років різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень. Водночас, вирішення цього питання відкриває можливості своєчасної корекції поточного функціонального стану та рівня функціональної підготовленості осіб, що має важливе значення для довготривалої підтримки високого рівня фізичної працездатності.

ВИСНОВКИ

1. Результати порівняльного аналізу функціонального стану та вираженості оксидативно-нітративного стресу в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень на початку дослідження дали змогу констатувати:

- для тренуваних осіб характерні достовірно більш високі, за їх нетренуваних однолітків, величини рівня загальної фізичної працездатності (для дівчат на 49,72%; для юнаків на 73,08%), максимального споживання кисню (на 15,02%; 25,25%), алактатної потужності (на 22,61%; 102,30%) та ємності (на 29,17%; 96,71%), лактатної потужності (на 25,72%; 77,53%) та ємності (22,71%; 86,09%), а також порога анаеробного обміну (на 25,48%; 49,51%);

- у тренуваних осіб спостерігалися кращі величини показників серцево-судинної системи: нижчі значення загального периферичного опору судин (у дівчат на 26,19%; у юнаків на 16,14%) і кінцево-сistolічного об'єму серця (на 15,53%; 12,99%), вищі значення систолічного (на 31,70%; 18,97%) і хвилинного (на 24,08%; 8,84%) об'ємів крові, кінцево-діастолічного об'єму серця (на 5,65%; 5,05%) та фракції викиду крові (на 25,80%; 15,09%), кращий функціональний стан системи зовнішнього дихання: вищі значення максимальної вентиляції легень (на 32,50%; 69,83%), резервного об'єму вдиху (на 10,83%; 8,45%) і видиху (на 11,90%; 14,99%);

- у тренуваних осіб спостерігалися більш високий вміст маркерів різних шляхів генерації СОР – тромбоксану В₂ (у дівчат на 171,76%; у юнаків на 202,16%), лейкотрієну С₄ (на 123,77%; 203,92%), арахідонової кислоти (на 80,88%; 35,10%), сумарних продуктів деградації аденін- і гуаніннуклеотидів (на 222,85%; 262,26%), сечової кислоти (на 53,99%; 131,78%), а також вища швидкість генерації супероксидного радикала (на 105,42%; 169,33%) та гідроксильного радикала (на 228,64%; 610,51%), вищий вміст перекису водню (на 151,37% у дівчат; 93,75% у юнаків) і негемового заліза (на 82,30%; 92,79%);

- у тренуваних осіб спостерігалися більш високі значення активності конститутивної NO-синтази (у дівчат на 71,52%; у юнаків на 106,62%) та достовірно нижчі значення активності індукбельної NO-синтази (на 28,28%, тільки в юнаків) і вмісту нітрат-аніону (на 34,97%; 23,73%);

- для тренуваних осіб характерні достовірно більш високі значення вмісту дієнових кон'югатів – у дівчат на 198,80%; у юнаків на 309,13% та ТБК-активних продуктів – на 181,50%; 254,64%.

2. Дослідження змін загального функціонального стану та вираженості оксидативно-нітративного стресу в осіб різної статі та з різною формою адаптації до фізичних навантажень протягом дослідження виявило наявність односпрямованих несприятливих змін у всіх групах обстежених, а саме:

- зниження рівня загальної фізичної працездатності (у нетренованих (тільки в юнаків) на 10,69%; у тренуваних дівчат на 16,62%; юнаків на 21,42%), максимального споживання кисню (на 8,09%; 8,12% і на 10,28%; 16,83% відповідно), алактатної потужності (на 11,92%; 9,44% і на 10,85%; 25,61%) та ємності (на 8,60%; 3,04% і на 14,93%; 17,98%), лактатної потужності (на 5,69%; 19,03% і на 11,08%; 17,33%) та ємності (на 5,17%; 18,01% і на 13,21%; 23,64%) і порога анаеробного обміну (на 4,54%; 3,40% і на 9,05%; 10,81%);

- погіршення функціонального стану серцево-судинної системи (підвищення ЗПОС у нетренованих (тільки в юнаків) на 7,26% і у тренуваних: дівчат на 21,74%; юнаків на 16,37%; підвищення КСО у нетренованих (тільки у дівчат) на 8,82%; у тренуваних – на 13,84%; 3,56% відповідно; зниження СОК тільки у тренуваних на 15,07%; 12,78%; ХОК тільки у тренуваних на 13,94%; 13,59%; зниження КДО у нетренованих (тільки в юнаків) на 5,47% і у тренуваних на 4,21%; 6,77%; ФВ на 8,01%; 7,62% і на 12,08%; 6,64%) та системи зовнішнього дихання (зниження величин МВЛ на 7,84%; 4,52% і на 8,44%; 11,61%; РОвд – у нетренованих (тільки в юнаків) на 8,26% і у тренуваних – на 10,00%; 12,17%; РОвид на 7,51%; 9,21% і на 12,81%; 11,85%);

- підвищення вмісту тромбоксану В₂ у нетренованих дівчат на 13,65%; юнаків на 15,21% і у тренуваних дівчат на 35,39%; юнаків на 45,11%, лейкотрієну С₄ – у нетренованих (тільки дівчат) на 14,22%; і у тренуваних на 32,21%; 46,10%, арахідонової кислоти – на 11,07%; 10,34% і на 26,58%; 53,52% відповідно, сечової кислоти (тільки у тренуваних) на 52,07%; 28,11%, сумарних продуктів деградації аденін- і гуаніннуклеотидів – у нетренованих (тільки в юнаків) на 12,92% і у тренуваних на 50,15%; 31,12%, а також збільшення швидкості генерації супероксидного (на 22,04%; 18,58% і на 110,75%; 91,77%) та гідроксильного (на 27,74%; 16,80% і на 97,02%; 109,78%) радикалів, вмісту перекису водню (на 27,85%; 18,50% і на 88,84%; 29,33%) та негемового заліза (на 18,55%; 13,73% і на 50,57%; 40,25%);

- зниження активності конститутивної синтази оксиду азоту у нетренованих дівчат на 12,70%; юнаків на 10,23% і у тренуваних дівчат на 16,98%; юнаків 15,61%) та зростання активності індукцйбельної синтази оксиду азоту (тільки у тренуваних на 20,87%; 33,27% відповідно), нітрат-редуктази (тільки у тренуваних на 33,80%; 24,46%), аргінази (тільки у тренуваних на 26,35%; 20,33%), вмісту нітрат-аніону (тільки у тренуваних на 31,81%; 32,79%);

- підвищення вмісту дієнових кон'югатів у нетренованих: дівчат на 21,64%; юнаків на 14,03% і у тренуваних: дівчат на 70,79%; юнаків на 55,17%) та ТБК-активних продуктів (на 23,89%; 14,62% і на 67,98%; 50,41%).

Зазначені негативні зміни були достовірно вищі у тренуваних осіб.

3. Доведена наявність кореляційної залежності, що зберігалася впродовж усього дослідження, у всіх обстежених осіб, незалежно від статі та форми адаптації організму до фізичних навантажень між ВМСК та показниками системи енергозабезпечення (від +0,30 до +0,82 для нетренованих і від +0,30 до +0,84 для тренуваних осіб), серцево-судинної системи (від -0,86 до +0,75 і від -0,82 до +0,80 відповідно), системи зовнішнього дихання (від +0,43 до +0,75 і від +0,60 до +0,77), а також показниками оксидативно-нітративного стресу, зокрема із вмістом маркерів різних шляхів генерації супероксидного радикала (від -0,43 до -0,36 для нетренованих і від -0,84 до -0,40 для тренуваних осіб), рівнями генерації АФК (від -0,49 до -0,33 і від -0,83 до -0,51), показниками системи синтезу оксиду азоту (від -0,59 до +0,59 і від -0,86 до +0,84) та вмістом продуктів ПОЛ (від -0,58 до -0,33 і від -0,84 до -0,70).

4. Отримані дані дозволяють констатувати вагому роль ступеня вираженості оксидативно-нітративного стресу в забезпеченні рівня загальної фізичної працездатності, функціонального стану системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання та розвитку адекватної форми адаптації організму до фізичних навантажень. Крім цього, результати дослідження можуть бути основою для розробки відповідних корегувальних заходів щодо забезпечення необхідного рівня адаптивних можливостей організму.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Голубенко А. В. Застосування антиоксидантів при виконанні навантажень високої інтенсивності / А. В. Голубенко, Н. В. Богдановська // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2014. – № 2 (3), Issue: 21. – Р. 34–37. *(Особистий внесок здобувача полягає в здійсненні досліджень, узагальненні та описі результатів, оформленні статті).*

2. Golubenko A. V. Differences in the System of Nitrogen Synthesis and Content of Metabolites in Antioxidant Systems of Sportsmen of Different Sex / A. V. Golubenko, N. V. Bogdanovskaya // American Journal of Biomedical and Life Sciences. Special Issue: Mechanisms of Protection against Oxidative Stress. – 2014. – Vol. 2, № 6 (1). – P. 19–24. *(Особистий внесок здобувача полягає в виявленні проблеми, здійсненні експериментального дослідження, аналізі результатів, оформленні статті).*

3. Голубенко А. В. Возможные пути коррекции антиоксидантной системы организма спортсменок высокой квалификации / А. В. Голубенко // Вісник Запорізького національного університету: Біологічні науки. – 2014. – № 2. – С. 129–139.

4. Голубенко А. В. Динаміка показників антиоксидантної системи у спортсменів протягом річного тренувального циклу / А. В. Голубенко // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Біологія. – 2014. – №4 (61). – С. 95–101.

5. Голубенко А. В. Розвиток оксидативного стресу в умовах фізичних навантажень високої інтенсивності / А. В. Голубенко, Н. В. Богдановська // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Біологія. – 2015. – № 1 (69). – С. 64–67. *(Особистий внесок здобувача полягає в здійсненні дослідження, узагальненні та описі результатів, оформленні статті).*

6. Голубенко А.В. Розвиток оксидативного стресу у спортсменок високої кваліфікації в умовах змагального періоду / А. В. Голубенко, Н. В. Богдановська // Вісник Львівського університету. Серія: Біологічна. – 2016. – Вип. 72. – С. 41–49 *(Особистий внесок здобувача полягає в здійсненні досліджень, узагальненні результатів та описі їхніх особливостей, оформленні статті).*

7. Голубенко А. В. Індукція оксидативного та нітрозативного стресу в юнаків при адаптації до фізичних навантажень у тренувальному та змагальному періодах / Н. В. Богдановська, А. В. Коцюруба, А. В. Голубенко // Фізіологічний журнал. – 2016. – Т. 62, № 2. – С. 47-56. *(Особистий внесок полягає в дослідженні біохімічних показників, статистичної обробки і оформленні статті).*

8. Висновок про відповідність винаходу умовам патентоздатності за результатами кваліфікаційної експертизи № 30446/3А/16 від 22.12.2016 Україна, МПК А61К36/00; А61К36/20, А61К 135/00; А61Р43/00. Спосіб корекції окисного стресу у спортсменів // Голубенко А. В., Богдановська Н. В., Коцюруба А. В., Маліков М. В.; заявитель Запорізький національний університет. – № а201507703 ; заявл. 03.08.2015. *(Особистий внесок здобувача полягає в проведенні дослідження).*

9. Пат. 108986 Україна, МПК (2016.01) А23F 3/34 (2006.01) А61К 36/00 А61К 36/534 (2006.01) А61К 36/738 (2006.01). Композиція інгредієнтів фіточаю // Богдановська Н. В., Коцюруба А. В., Голубенко А. В. ; заявник і власник Запорізький національний університет. – № 201600505; заявл. 22.01.2016; опубл. 10.08.2016. – Бюл. № 15. – 5 с. *(Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментального дослідження, оформленні патенту).*

10. Голубенко А. В. Зміни показників антиоксидантної системи організму спортсменів в процесі виконання систематичних фізичних навантажень високої інтенсивності / А. В. Голубенко // Психологічні, педагогічні і медико-біологічні аспекти фізичного виховання : матеріали V міжн. електр. наук.-практ. конф., Одеса, 21-25 квітня 2014 р. – Одеса, 2014. – С. 233–234.

11. Голубенко А. В. Проблема пошуку речовин рослинного походження, що збільшують ємність АОС організму спортсменів високої кваліфікації / А. В. Голубенко, Г. М. Страколист // Психофізіологічні та вісцеральні функції в нормі і патології : Тези доп. VII Міжнар. наук конф., присвяченої 180-річчю Київського національного університету ім. Тараса Шевченка та 120-річчю А. І. Ємченка, Київ, 7-9 жовтня 2014 р. – К., 2014. – С. 45.

12. Голубенко А. В. Зміна деяких показників антиоксидантної системи під впливом екдистерону (на прикладі волейболісток високої кваліфікації) / А. В. Голубенко, Г. М. Страколист, Н. В. Богдановська // Адаптаційні можливості дітей та молоді : матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 95-річчю утворення кафедри біології і основ здоров'я ПНПУ імені К. Д. Ушинського, Одеса, 11-12 вересня 2014 р. – Одеса, 2014. – С. 57–60.

13. Golubenko A. V. Physiological mechanisms of l-arginine metabolism during adaptation to physical stress / N. V. Bogdanovskaya, A. N. Svyatodukh, A. V. Golubenko // Adaptation Strategy of the Living Systems : The proceedings of the International Interdisciplinary Conference, 12-17 May 2014, Novy Svet, Ukraine. – K., 2014. – P. 6–7.

14. Голубенко А. В. Гендерные различия в реакции антиоксидантной системы спортсменов высокой квалификации на нагрузки высокой интенсивности [Електронний ресурс] / А. В. Голубенко, Н. В. Богдановская, А. Н. Страколист // Специфические и неспецифические механизмы адаптации при стрессе и физической нагрузке : сб. науч. статей I Республик. науч.-практ. интернет-конф. с междун. уч. – Гомель, 2014. – С. 94–96. Режим доступа : <http://www.gsmu.by/file/konferen/stress/5/golub.pdf>

15. Голубенко А. В. NO в регуляции функций пищеварительного тракта / А. В. Голубенко, А. Н. Страколист // Актуальные проблемы медицинской реабилитации, физиотерапии и спортивной медицины : Материалы научно-практ. конф. с междун. уч., Самарканд, 25–26 ноября 2014 г. – Самарканд, 2014. – С. 214.

16. Голубенко А. В. Вплив екдистерону на деякі показники системи антиоксидантного захисту організму спортсменів високої кваліфікації / А. В. Голубенко // Фізична культура, спорт та фізична реабілітація в сучасному суспільстві : зб. наук. пр. за матеріалами VII Всеукр. студ. наук.-практ. конф., Вінниця, 15-16 травня 2014 р. – Вінниця, 2014. – С. 215–217.

17. Голубенко А. В. Вивчення змін показників антиоксидантної системи організму спортсменів / А. В. Голубенко // Індивідуальні психофізіологічні особливості людини та професійна діяльність : матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф., Черкаси, 16-18 квітня 2014 р. – Черкаси, 2014. – С. 28.

18. Голубенко А. В. Вплив екдистерону на антиоксидантну систему організму спортсменів під час виконання систематичних фізичних навантажень високої інтенсивності / А. В. Голубенко // Молода наука-2014 : Зб. наук. праць студ., асп. і мол. вч., Запоріжжя, 8-10 квітня 2014 р. – Запоріжжя, 2014. – Т. 2. – С. 148–150.

19. Голубенко А. В. Застосування речовин антиоксидантної природи для підвищення антиоксидантного статусу та фізичної працездатності спортсменів / А. В. Голубенко // Дидактико-методичні аспекти фізичної культури : Зб. наук. праць за матеріалами ІХ Всеукр. студ. наук.-практ. конф., Херсон, 26-27 березня 2015 р. – Херсон, 2015. – С. 119–122.

20. Голубенко А. В. Інтенсивність перебігу реакцій перекисного окислення ліпідів в організмі спортсменок високої кваліфікації протягом змагального періоду / А. В. Голубенко // Молода наука-2015 : Зб. наук. праць студ., асп. і мол. вч., Запоріжжя, 7-9 квітня 2015 р. – Запоріжжя, 2015. – Т. 4. – С. 51–52.

21. Голубенко А. В. Вивчення показників антиоксидантної системи спортсменок високої кваліфікації протягом змагального періоду / А. В. Голубенко // Молодь і поступ біології : зб. тез XI Міжнар. наук. конф. студ. і асп., Львів, 20-23 квітня 2015 р. – Львів, 2015. – С. 445–446.

22. Голубенко А. В. Корекція окисного стресу у спортсменів високої кваліфікації із застосуванням антиоксиданту природного походження / А. В. Голубенко, Н. В. Богдановська, С. І. Караулова // Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи співпраці в рамках регіональних технологічних платформ, Запоріжжя, 1-20 грудня 2015 р. – Запоріжжя, 2015. – Т. 2. – С. 353–358.

АНОТАЦІЇ

Симонік А. В. Роль оксидативно-нітративного стресу в процесі адаптації до фізичних навантажень. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.13 – фізіологія людини і тварин. – Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, 2017.

Дисертаційна робота має і фундаментальне, і практичне значення, оскільки розширює теоретичне уявлення про роль оксидативно-нітративного стресу у формуванні адаптації організму до фізичних навантажень.

Доведено, що процес адаптації до систематичних фізичних навантажень, як у представників чоловічої, так і жіночої статі відбувається шляхом підвищення функціонального стану системи енергозабезпечення, серцево-судинної системи та системи зовнішнього дихання за рахунок активації ферментативних, неферментативних процесів генерації активних форм кисню, різнонаправлених змін у системі синтезу оксиду азоту та підтримки оптимальної інтенсивності процесів перекисного окислення ліпідів. Встановлено високу кореляційну залежність, незалежно від статі й форми адаптації до фізичних навантажень, між величиною максимального споживання кисню та показниками, які характеризують вираженість оксидативно-нітративного стресу й інтенсивність перекисного окислення ліпідів.

Проведене дослідження дозволило розкрити ймовірний фізіологічний механізм впливу оксидативно-нітративного стресу на процес формування адаптації організму до систематичних фізичних навантажень.

Ключові слова: адаптація, фізичні навантаження, оксидативно-нітративний стрес, система енергозабезпечення, серцево-судинна система, система зовнішнього дихання, функціональний стан.

Сымоник А. В. Роль оксидативно-нитративного стресса в процессе адаптации к физическим нагрузкам. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.13 – физиология человека и животных. – Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, 2017.

Диссертационная работа имеет фундаментальное и практическое значение, поскольку расширяет представление о роли оксидативно-нитративного стресса в формировании адаптации организма к физическим нагрузкам.

Доказано, что процесс адаптации к систематическим физическим нагрузкам, у представителей как мужского, так и женского пола происходит путем оптимизации функционирования системы энергообеспечения, сердечно-сосудистой системы и системы внешнего дыхания за счет активации ферментативных, неферментативных процессов генерации активных форм кислорода, оптимизации системы синтеза оксида азота и поддержания оптимальной интенсивности процессов перекисного окисления липидов.

Установлена высокая корреляционная зависимость, независимо от пола и формы адаптации к физическим нагрузкам, между величиной максимального потребления кислорода и показателями, которые характеризуют выраженность оксидативно-нитративного стресса. Проведенное исследование позволило раскрыть вероятный физиологический механизм влияния оксидативно-нитративного стресса на процесс формирования адаптации организма к систематическим физическим нагрузкам.

Ключевые слова: адаптация, физические нагрузки, оксидативно-нитративный стресс, система энергообеспечения, сердечно-сосудистая система, система внешнего дыхания, функциональное состояние.

Symonik A. V. The role of oxidative-nitrative stress in the process of adaptation to physical loads. – Manuscript.

Thesis for PhD degree in Biology, specialty 03.00.13 – Human and animal physiology. – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, 2017.

The dissertation research has both fundamental and practical importance, since expanding theoretical understanding of the role of oxidative-nitrative stress in creating adaptation to physical activity.

During the research, 126 girls and boys 18-20 years old with different forms of adaptation to physical activity (trained and untrained) were surveyed by 32 indicators that determine the functional state of the energy supply system, cardiovascular system, external breathing system and manifestation of oxidative-nitrative stress and intensity of lipid peroxide oxidation. Registration of all indicators was performed for untrained persons three times during the school year at the university, and for trained individuals - within three years of the training cycle.

We used methods of research: physiological (submaximal test PWC₁₇₀, echocardiography, rheography, spirometry), biochemical (determination of indicators of oxidative-nitrative stress and lipid peroxidation), statistics (the reliability of the changes was determined by Student's t-test and U-Mann-Whitney test (depending on the nature of the distribution of experimental data); we calculated the Pearson's linear correlation coefficient.

In the study for the first time it was shown that the improvement of the whole functional state of trained persons in the process of systematic implementation of physical activity was carried out by the way of activation of enzymatic and non-enzymatic mechanisms of oxygen active forms generation, optimization of the synthesis of nitric oxide, as well as maintaining optimal activity of lipid peroxide oxidation.

For the first time it was proved that the reduction of the functional state of untrained persons during the school year and of trained individuals during the training year cycle was accompanied by growing manifestation of oxidative-nitrative stress and intensity of lipid peroxide oxidation, which are more expressed by trained individuals.

The high correlation dependence that persisted during the whole research for all surveyed individuals, regardless of gender and form of adaptation to physical activity was established between the integral indicator of the functional state, maximum oxygen consumption and the indices of energy supply system, cardiovascular system, external breathing system, manifestation of oxidative-nitrative stress and intensity of lipid peroxide oxidation.

The results of the research reveal the possible physiological mechanism of oxidative-nitrative stress influence on the process of adaptation to regular physical activity.

Key words: adaptation, physical activity, oxidative-nitrative stress, energy supply system, cardiovascular system, external breathing system, functional state.

Підписано до друку 30.01.2017. Формат 60×90/16.
Папір офсетний. Друк цифровий. Гарнітура Times.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 4.

Запорізький національний університет

69600, м. Запоріжжя, МСП-41
вул. Жуковського, 66

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 5229 від 11.10.2016

