

Інтенсивність окисного метаболізму та продукції оксиду азоту у студенток за умов адаптації функціональних систем до фізичних навантажень

Н.В. Богдановська¹, А.В. Симонік¹, Ю.П. Коркач², В.Ф. Сагач²

¹Запорізький національний університет;

²Інститут фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України, Київ; e-mail: 020190@ukr.net

Вивчали інтенсивність окисного метаболізму та зміни синтезу оксиду азоту в групі тренуваних і нетренуваних студенток віком від 18 до 22 років за умов адаптації функціональних систем до фізичних навантажень. Встановили, що на початковому етапі змагального періоду у тренуваних жінок забезпечення адаптивних перебудов в організмі відбувається на фоні достовірного підвищення інтенсивності окисного метаболізму (зростання швидкості генерації супероксидного радикала, гідроксильного радикала, вмісту сечової кислоти, перекису водню), змін у синтезі оксиду азоту (зростання активності конститутивної синтази оксиду азоту, зниження вмісту маркера пероксинітриту – нітрат-аніона) та утворення великої кількості продуктів перекисного окиснення ліпідів, що вказує на інтенсифікацію цих процесів. Виявлено високу ($r \geq 0,70$) кореляційну залежність у групі тренуваних студенток між функціональним станом організму, показниками інтенсивності окисного метаболізму та продукції оксиду азоту, що дало змогу констатувати важливу роль цих процесів у формуванні адаптивних змін організму при виконанні систематичних фізичних навантажень.

Ключові слова: функціональний стан; адаптація; окисний метаболізм; оксид азоту; активні форми кисню та азоту; перекисне окиснення ліпідів.

ВСТУП

Вивчення ролі фізичних навантажень в оптимізації функціонального стану організму, забезпеченні високого рівня фізичного та психічного здоров'я людини, а також, роль активних форм кисню (АФК) та азоту (АФА) в регуляції діяльності більшості фізіологічних систем організму, які значною мірою визначають поточний рівень фізичної працездатності і характер адаптації до навантажень досі не виявлені остаточно [1]. У зв'язку з цим висловлюється припущення про можливу функціональну залежність між інтенсивністю окисного метаболізму, продукцією оксиду азоту (NO) та рівнем фізичної працездатності організму на тлі домінуючої ролі АФК, АФА та інтенсифікації процесу перекисного окиснення ліпідів

(ПОЛ) у забезпеченні адаптивних змін організму за умов виконання систематичних фізичних навантажень. Хоча різноманітні механізми вже достатньо досліджені і описані на прикладі спортсменів, які спеціалізуються у циклічних видах спорту із аеробним характером навантажень [3, 4], залишається невизначеним вплив навантажень змішаного типу, який превалює у спортивних іграх, адже аеробно-анаеробні механізми можуть діяти синергічно, в зв'язку з чим різні типи вправ, імовірно, активують різні шляхи утворення вільних радикалів. Відзначимо, що спортивні ігри характеризуються розвитком не тільки таких аеробних якостей, як витривалість, але і тих, що реалізуються за рахунок анаеробних і змішаних режимів роботи, зокрема швидко-силова витривалість, сила, вибу-

© Н.В. Богдановська, А.В. Симонік, Ю.П. Коркач, В.Ф. Сагач

хова сила, координаційні здібності. Постійне переключення з одних режимів роботи на інші, оперативне вирішення нестандартних завдань, психомоторне збудження може, на нашу думку, сприяти підвищенню споживання і утилізації кисню, значній інтенсифікації окисного метаболізму та утворенню АФК і АФА за умов адаптації функціональних систем до фізичних навантажень.

Метою нашого дослідження було вивчення взаємозв'язку між функціональним станом організму жінок (тренованих і нетренованих) та інтенсивністю окисного метаболізму, синтезу NO і процесу ПОЛ.

МЕТОДИКА

У дослідженні взяли участь нетреновані студентки (контрольна група, 31 особа) та треновані спортсменки, члени волейбольного клубу, які мають стаж заняття спортом понад 10 років (основна група, 32 особи) віком від 18 до 22 років. Усі визначені показники реєстрували для контрольної групи на початку навчального року; серед основної групи – на початку змагального періоду річного циклу підготовки. Дослідження проводили з дотриманням загальноприйнятих норм біоетики та положень Гельсінської декларації 1975 р. за письмовою згодою обстежуваних після інформування про мету, тривалість та процедуру дослідження.

Фізіологічні дослідження. Оцінку функціонального стану організму тренованих і нетренованих жінок проводили за показниками системи енергозабезпечення серцево-судинної (ССС) та дихальної систем. Рівень загальної фізичної працездатності, максимального споживання кисню та показників системи енергозабезпечення оцінювали за стандартним субмаксимальним велоергометричним тестом (PWC_{170}) із розрахунком відносних значень загальної фізичної працездатності та максимального споживання кисню, алактатної ємності та лактатної ємності, алактатної потужності та

лактатної потужності, порогу анаеробного обміну як було описано нами раніше [5, 6]. Розрахунок вищезазначених показників проводили за загальноприйнятими формулами Карпмана [7].

Для оцінки функціонального стану ССС (хвилинний і систолічний об'єм крові та загальний периферичний опір судин) використовували тетраполярну та ехокардіографію, яку здійснювали на автоматизованому діагностичному комплексі «Кардіо+» (канал РЕО) (НВП «Метекол» м. Ніжин, Україна). Результати обробляли автоматично згідно з програмним забезпеченням комплексу «Кардіо+».

Структурно-функціональну організацію серця (кінцево-сistolічний і кінцево-діастолічний об'єми серця та величину фракції викиду крові) оцінювали методом ехокардіографії з використанням ультразвукового сканера фірми „Siemens”. Функціональний стан дихальної системи оцінювали методом спірографії із визначенням резервного об'єму вдиху і видиху та максимальної вентиляції легень. Резервний об'єм вдиху визначали попереднім наповненням спірометра повітрям (до відмітки 3л) і подальшого глибокого вдиху із нього (цьому вдиху повинен передувати спокійний вдих з навколишнього середовища). Резервний об'єм видиху оцінювали за глибоким видихом у спірометр після передуючого йому спокійного видиху в навколишнє середовище. Різниця між початковим і прикінцевим свідченнями спірометра відповідала цій величині. Для оцінки максимальної вентиляції легень упродовж 15 с максимально часто і максимально глибоко дихають у спірометр. Отриманий результат множать на 4.

Біохімічні дослідження. Біохімічні показники інтенсивності окисного метаболізму, процесу ПОЛ та синтезу NO досліджували у плазмі крові. Вміст ейкозаноїдів тромбоксану B_2 (TxB_2) та лейкотрієну C_4 (LTC_4) визначали в спиртових екстрактах проб радіоімунним методом за допомогою добірки реактивів

фірми «Amersham» (Англія), вміст сечової кислоти, сечовини та заліза - колориметрично, за допомогою добірки реактивів фірми «Філісіт-Діагностика» (Україна, Дніпро), а вміст вільної арахідонової кислоти в ліпідному гептан-ізопропанольному екстракті спектрофотометрично [8]. Продукти деградації пуринових нуклеотидів визначали загальноживаним колориметричним методом [9]. Швидкість генерації супероксидного радикала ($\cdot\text{O}_2^-$) оцінювали за окисненням цитохрому С [10]. Дослідження вмісту дієнових кон'югатів (ДК), ТБК-активних продуктів (малонового діальдегіду), а також швидкість генерації гідроксильного радикала ($\cdot\text{OH}$ -радикала) та перекису водню (H_2O_2) проводили спектрофотометрично [8-13].

Для вивчення активності синтаз оксиду азоту (Ca^{2+} - залежної (сNOS) та Ca^{2+} - незалежної (iNOS)) використовували комбінацію класичного методу [14] та сучасну його модифікацію [15], пристосовану до спектрофотометричного вимірювання одного з продуктів реакції – L-цитруліну. Вміст нітрат-аніона (NO_3^-) вимірювали спектрофотометрично, використовуючи бруцин [16]. Загальну нітратредуктазну активність визначали за наявності надлишку НАДФН [17], аргіназну активність - за утворенням сечовини [18]. Вміст білка в плазмі крові досліджували загальноприйнятим методом Лоурі [19].

Отримані результати статистично обробляли програмами *Excel* і «*Statistica 7.0*». Достовірність змін оцінювали за *t*-критерієм Стьюдента і U-критерієм Манна-Уїтні, коефіцієнт лінійної кореляції за методом Пірсона (r). Розраховували відносну різницю фізіологічних та біохімічних показників щодо контролю за формулою:

$$\Delta (\%) = 100 \cdot (X_i - X_n) / X_n,$$

де X_i – значення показника в основній групі; X_n – значення показника в контрольній групі.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для вивчення показників фізичної працездатності у нетренованих і тренуваних

студенток нами був проведений аналіз результатів, отриманих при виконанні субмаксимального велоергометричного тесту. Слід відмітити, що у групі тренуваних осіб (представниць ациклічного виду спорту) показники фізичної працездатності були достовірно вищими ($P < 0,001$), зокрема значення PWC_{170} перевищувало цей показник для нетренованих у 1,5 раза. Більш оптимальний функціональний стан системи енергозабезпечення тренуваних жінок підтверджений достовірно вищими значеннями показників, що її характеризують, у середньому на 22,61- 29,17% (табл. 1). У тренуваних студенток відзначалися достовірно відмінні значення практично всіх вивчених показників ССС. Зокрема, з боку центральної гемодинаміки, для них були характерні вищі, ніж у групі нетренованих осіб, значення систолічного (на 31,70%, $P < 0,001$), хвилинного (на 24,08%, $P < 0,001$) об'ємів крові і нижчі значення загального периферичного опору судин (на 26,19%, $P < 0,001$). Також відзначалася більш виражена адаптація структурно-функціональної організації серця. Так, у групі тренуваних жінок порівняно із нетренованими реструували вищі значення кінцево-діастолічного об'єму серця (на 5,65%, $P < 0,001$) та фракції викиду крові (на 25,80%, $P < 0,001$) і нижчі значення кінцево-сistolічного об'єму крові (на 15,53%, $P < 0,001$).

При спірографічному обстеженні встановлено, що у тренуваних студенток адаптація дихальної системи виражається зміною показників, що характеризують функціональний стан апарату зовнішнього дихання. Тренованим жінкам притаманна достовірно вища максимальна вентиляція легень (на 32,50%, $P < 0,001$), резервний об'єм вдиху (на 10,83%, $P < 0,01$) та видиху (на 11,90%, $P < 0,001$). Таким чином, наші результати повністю узгоджуються та доповнюють дані, що були отримані в інших дослідженнях, відповідно до яких систематичні фізичні

навантаження сприяють виникненню стійких адаптивних змін в організмі, зокрема у системі енергозабезпечення [20], серцево-судинній та дихальній системах [21].

Показано, що функціональний стан організму залежить від вмісту АФК та АФА, підвищення продукції яких з одного боку може виступати як адаптаційний чинник, котрий стимулює активацію захисних антиоксидантних механізмів та утворення як ферментативних так і неферментативних ендогенних антиоксидантів, а з іншого боку, чинити пошкоджуючий вплив на мембранні компоненти клітин, підвищуючи проникність і порушуючи тим самим їх

функції [22]. Зважаючи на таку важливу роль АФК та АФА у забезпеченні оптимального рівня функціонування фізіологічних систем організму, а також на отримані нами експериментальні результати, було висунуте пропущення, що важливим фактором, який лімітує підвищення фізичної працездатності та роботу м'язів може бути зміна інтенсивності окисного метаболізму на тлі активації синтезу NO. Відомо, що NO діє на процеси скорочення скелетних м'язів як через нітрозилювання міофібрилярних білків, що призводить до пригнічення ізометричної сили і швидкості скорочення м'язів (за фізіологічних концентрацій оксиду азоту),

Таблиця 1. Показники системи енергозабезпечення, серцево-судинної та дихальної систем у нетренованих та тренуваних студенток (M±m)

Показники	Нетреновані	Треновані	Відносна різниця між показниками у тренуваних і нетренованих жінок, %
Загальна фізична працездатність, $\text{кгм}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$	15,6±0,29	23,35±0,53**	49,72
Максимальне споживання кисню, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}\cdot\text{кг}^{-1}$	51,76±0,81	59,54±0,96**	15,02
Алактатна потужність, Вт/кг	5,52±0,07	6,77±0,13**	22,61
Алактатна ємність, %	32,39±0,43	41,84±0,61**	29,17
Лактатна потужність, Вт/кг	3,87±0,04	4,86±0,09**	25,72
Лактатна ємність, %	23,7±0,28	29,09±0,46**	22,71
Поріг анаеробного обміну, %	48,2±0,2	60,48±0,33**	25,48
Загальний периферичний опір судин, $\text{дин}^2\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$	1760,59±51,23	1299,49±41,6**	-26,19
Систолічний об'єм крові, мл	50,71±1,87	66,78±0,98**	31,70
Хвилинний об'єм кровотоку, л/хв	3,33±0,1	4,13±0,05**	24,08
Кінцево-систолічний об'єм, мл	50,58±0,5	42,73±0,46**	-15,53
Кінцево-діастолічний об'єм, мл	103,31±1,41	109,15±0,66**	5,65
Фракція викиду крові, %	48,61±1,18	61,15±0,68**	25,80
Максимальна вентиляція легень, $\text{л}\cdot\text{хв}^{-1}$	88,33±1,19	117,03±2,06**	32,50
Резервний об'єм, л			
вдиху	1,46±0,05	1,62±0,02*	10,83
видиху	1,1±0,02	1,23±0,01**	11,90

Примітка тут і в табл. 2: * P<0,01; ** P<0,001 порівняно із нетренованими жінками.

так і через активацію циклічних нуклеотидів та кальцієвих каналів, при систематичних та інтенсивних фізичних навантаженнях, що є причиною збільшення швидкості скорочення м'язів та перетворення волокон, які скорочуються повільно у ті, що скорочуються швидко [23]. Тому ми провели порівняльний аналіз показників, що характеризують інтенсивність окисного метаболізму та систему/продукцію NO у нетренованих і тренуваних студенток. Встановлено (табл. 2), що у тренуваному організмі відбуваються зміни, котрі призводять до посилення деяких

ферментативних механізмів генерації $\cdot\text{O}_2^-$. У групі тренуваних жінок відзначалася вища інтенсивність усіх вивчених нами шляхів утворення $\cdot\text{O}_2^-$, зокрема ліпоксигеназного (у 2,25 раза, $P<0,001$) та циклооксигеназного (у 2,7 раза, $P<0,001$) і ксантинооксидазного (у 2 раза, $P<0,001$), що з'явилося передумовою для достовірно вищої (у 2 рази, $P<0,001$) швидкості генерації самого радикала. Виявлена також вища інтенсивність утворення АФК за рахунок реакції Фентона, що підтверджено вищими значеннями швидкості генерації $\cdot\text{O}_2^-$ (у 3,3 раза, $P<0,001$), вмісту H_2O_2 (у 2,5

Таблиця 2. Показники інтенсивності окисного метаболізму, продукції оксиду азоту у нетренованих та тренуваних студенток ($M\pm m$)

Показники	Нетреновані	Треновані	Відносна різниця між показниками у тренуваних і нетренованих жінок, %
Арахідонова кислота, нмоль·мг ⁻¹ білка	9,45±0,28	17,10±0,45**	80,88
Тромбоксан В ₂ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,59±0,06	4,33±0,15**	171,76
Лейкотрієн С ₄ , пмоль·мг ⁻¹ білка	1,44±0,06	3,23±0,05**	123,77
Продукти деградації пуринових нуклеотидів, нмоль·мг ⁻¹ білка	1,59±0,08	5,12±0,15**	222,85
Сечова кислота, нмоль·мг ⁻¹ білка	2,79±0,09	4,30±0,22**	53,99
Швидкість генерації, ум.од.			
$\cdot\text{O}_2^-$	1,51±0,07	3,10±0,12**	105,42
$\cdot\text{OH}$	2,17±0,12	7,12±0,26**	228,64
Перекис водню, пмоль·мг ⁻¹ білка	2,02±0,09	5,07±0,19**	151,37
Негемове залізо, пмоль·мг ⁻¹ білка	2,36±0,08	4,30±0,14**	82,30
NO-синтаза, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка			
конститутивна	26,54±0,5	45,52±1,74**	71,52
індуцибельна	8,79±0,55	8,06±0,45	-8,27
Н-редуктаза, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	4,2±0,18	4,16±0,02	-0,92
Аргіназа, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	1,37±0,03	1,32±0,02	-3,14
Нітрат-аніон, нмоль·мг ⁻¹ білка	8,97±0,31	5,83±0,19**	-34,97
Дієнові кон'югати, нг·мг ⁻¹ білка	2,19±0,12	6,54±0,28**	198,80
ТБК-активні продукти, нмоль·мг ⁻¹ білка	16,70±0,70	47,02±2,04**	181,50

раза, $P < 0,001$) та негемового заліза в осіб, які систематично піддаються навантаженням високої інтенсивності. У групі тренуваних студенток відзначався посилений синтез NO кисеньзалежним шляхом *de novo*, про що свідчить збільшення активності cNOS (у 1,7 раза, $P < 0,001$) та зниження вмісту NO_3^- (у 1,5 раза, $P < 0,001$). Водночас посилена активність ферментативних та неферментативних шляхів генерації АФК у тренуваних осіб вочевидь стала передумовою для інтенсифікації процесів ліпопероксидації, про що переконливо свідчить достовірно вищий вміст ДК (у 3 раза) та ТБК-активних продуктів (у 2,8 раза).

Загалом проведене нами дослідження дало змогу встановити, що у жінок систематичні фізичні навантаження високої інтенсивності сприяють адаптації організму, що виражається у змінах в системі енергозабезпечення, серцево-судинної та дихальної систем. Такі зміни фізіологічних показників відбуваються за рахунок посилення метаболічних процесів, що виражено у збільшенні інтенсивності генерації O_2^- , зокрема зростанні активності циклооксигеназного, ліпоксигеназного та ксантиноксидазного шляхів його утворення. Також у групі тренуваних студенток відзначалося підвищення рівнів генерації АФК, інтенсифікація окисного шляху синтезу NO, зниження вмісту NO_3^- - маркера утворення та розпаду пероксинітриду що, однак, супроводжувалося підвищенням активності процесу ПОЛ.

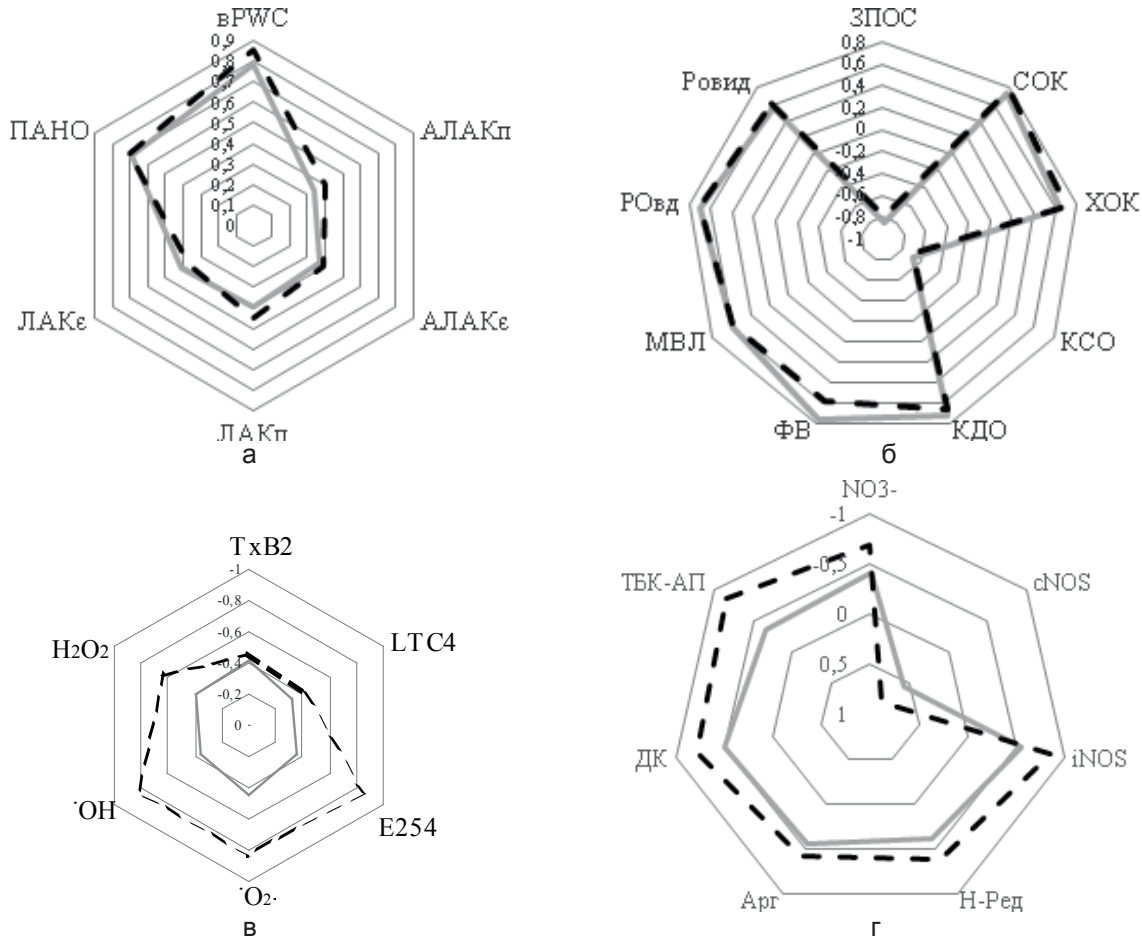
Зважаючи на те, що максимальне споживання кисню (МСК) є інтегральною характеристикою функціонального стану організму, нами був проведений кореляційний аналіз між ним і показниками енергозабезпечення, серцево-судинної та дихальної систем. Доведена пряма кореляційна залежність у жінок, незалежно від рівня тренуваності, між МСК та загальною фізичною працездатністю, сили з алактатною потужністю та ємністю, лактатною потужністю та ємністю і порогом

анаеробного обміну (рисунок, а).

На тлі відзначеним нами оптимальним рівнем функціонування системи енергозабезпечення у тренуваних осіб, досить інформативним став аналіз показників центральної гемодинаміки та структурно-функціональної організації серця. Спостерігалася кореляційна залежність з МСК у обстежених жінок, незалежно від тренуваності. У нетренованих та тренуваних студенток реєстрували сильний зворотний кореляційний зв'язок між МСК та загальним периферичним опором та зворотний кореляційний зв'язок середньої сили із кінцево-сistolічним об'ємом серця. Сильний прямий кореляційний зв'язок був також зареєстрований із систолічним і хвилинним об'ємом крові, кінцево-діастолічним об'ємом серця та фракцією викиду крові. При спірографічному обстеженні нетренованих та тренуваних осіб встановлено сильну пряму кореляційну залежність між МСК та резервним об'ємом вдиху, а також пряму кореляційну залежність середньої сили із максимальною вентиляцією легень та резервним об'ємом видиху (див. рисунок, б).

Таким чином, незалежно від адаптації організму до фізичних навантажень, нами встановлена кореляційна залежність між максимальним споживанням кисню та показниками системи енергозабезпечення, серцево-судинної та дихальної систем, що дає змогу підтвердити важливість визначення МСК для оцінки поточного рівня функціонального стану організму людини.

Аналіз коефіцієнтів кореляції, визначених у групах нетренованих та тренуваних студенток між МСК та біохімічними показниками, що характеризують інтенсивність окисного метаболізму, систему NO та протікання процесу ПОЛ (див. рисунок, в, г) дає змогу виявити наявність зворотної кореляційної залежності середньої сили між МСК та вмістом TxB_2 і LTC_4 . Сильна зворотня кореляційна залежності спостерігалася між МСК із вмістом продуктів деградації



Коефіцієнти кореляції між максимальним споживанням кисню (МСК) і показниками системи енергозабезпечення (а), серцево-судинної та дихальної систем (б) показниками окисного метаболізму (в) та показниками продукції оксиду азоту та перекисного окиснення ліпідів (г).

Примітка: - - - - треновані, — — нетреновані дівчата; $BPWC_{170}$ – загальна фізична працездатність, 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 кровообігу, КСО – кінцево-систолічний об’єм серця, КДО – кінцево-діастолічний об’єм серця, Фв – фракції викиду крові, МВЛ – максимальна вентиляція легень, РОвд – резервний об’єм вдишу, Ровид – резервний об’єм видиху; TxB_2 – тромбоксан B_2 , LTC_4 – лейкотрієн C_4 , E_{254} – продукти деградації пуринових нуклеотидів, $O_2^{\cdot-}$ – супероксидний аніон, OH^{\cdot} – гідроксильний радикал, H_2O_2 – пероксид водню; NO_3^- – нітрат-аніон, cNOS – конститутивна синтаза оксиду азоту, iNOS – індукційна синтаза оксиду азоту, Н-Ред – НАДФН-залежна нітратредуктаза, Арг – аргіназа, ДК – дієнові кон’юганти, ТБК-АП – ТБК-активні продукти (малоновый діальдегід)

пуринових нуклеотидів, швидкістю генерації $O_2^{\cdot-}$ та OH^{\cdot} , вмістом H_2O_2 , активністю iNOS, аргінази, нітратредуктази, вмістом NO_3^- , ДК, а також сильної прямої кореляційної залежності із активністю cNOS.

Таким чином, отримані нами результати підтвердили важливу роль синтезу NO, утворення АФК та АФА і активації ПОЛ в

забезпеченні оптимального рівня фізичної працездатності, функціонального стану серцево-судинної та дихальної систем, і дозволили доповнити наявні теоретичні відомості щодо залучення цих процесів до адаптації організму за умов фізичних навантажень у тренованих та нетренованих студенток від 18 до 20 років.

ВИСНОВКИ

1. Порівняльний аналіз функціонального стану, інтенсивності окисного метаболізму та продукції NO у групах нетренираних та тренираних жінок показав, що забезпечення адаптивних змін в процесі виконання систематичних фізичних навантажень характеризується активацією ферментативних і неферментативних механізмів генерації АФК, посиленням активності cNOS, та активацією процесу ПОЛ, що сприяє підвищенню загальної фізичної працездатності, системи енергозабезпечення, максимального споживання кисню, оптимізації показників ССС та системи зовнішнього дихання.

2. Кореляційний аналіз підтвердив, що максимальне споживання кисню є інтегральним показником загального функціонального стану організму і дає змогу припустити можливість його використання для оцінки інтенсивності процесу ПОЛ, синтезу NO та окисного метаболізму за умов адаптації до фізичних навантажень.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

**Н.В. Богдановская, А.В. Симоник,
Ю.П. Коркач, В.Ф. Сагач**

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА И ПРОДУКЦИИ ОКСИДА АЗОТА У СТУДЕНТОК В УСЛОВИЯХ АДАПТАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Изучали интенсивность окислительного метаболизма и синтез оксида азота у тренированных и нетренированных студенток возрастом от 18 до 22 лет в условиях адаптации функциональных систем к физическим нагрузкам. Установили, что на начальном этапе соревнований у тренированных женщин адаптивные изменения в

организме происходят на фоне достоверного повышения интенсивности окислительного метаболизма (повышение генерации супероксидного радикала, гидроксильного радикала, содержания мочевой кислоты, перекиси водорода), колебания уровня оксида азота (повышение активности конститутивной синтазы оксида азота, снижение содержания маркера пероксинитрита – нитрат-аниона) и перекисного окисления липидов (повышение содержания диеновых конъюгатов), что указывает на интенсификацию этих процессов. Выявлена высокая ($r \geq 0,70$) корреляционная зависимость в группе тренированных студенток между функциональным состоянием организма и показателями интенсивности окислительного метаболизма и продукцией оксида азота, что позволило говорить о важной роли этих процессов в формировании адаптивных изменений организма при выполнении систематических физических нагрузок. Ключевые слова: функциональное состояние; адаптация; окислительный метаболизм; оксид азота; активные формы кислорода и азота; перекисное окисление липидов.

**N.V. Bogdanovska¹, A.V. Simonik¹,
Yu.P. Korkach², V.F. Sagash²**

THE INTENSITY OF OXIDATIVE METABOLISM AND PRODUCTION OF NITRIC OXIDE IN FEMALE STUDENTS DURING ADAPTATION TO PHYSICAL LOAD

The intensities of oxidative metabolism and nitric oxide production in the trained and untrained female students aged 18-22 years under adaptation to physical load were studied. At the initial stage of the competitive period in the trained students adaptive rearrangements were accompanied by a significant increase in the intensity of the oxidative metabolism (an increase in the rate of generation of the superoxide radical, hydroxyl radical, uric acid content, hydrogen peroxide), production of nitric oxide (increased activity of the constitutive NOS and decrease in the content of the marker of peroxyxynitrite – nitrate anion) and lipid peroxidation. The growth of the content of TBA-active products indicates the intensification of these processes. High ($r \geq 0.70$) correlation dependence among trained girls students between the functional state of the organism and the indicators of the intensity of oxidative metabolism and nitric oxide production was revealed. Our results point for the important role of these processes in the formation of adaptive changes in the body under systematic physical load. Key words: functional state; adaptation; oxidative metabolism; nitric oxide; active forms of oxygen and nitrogen; lipid peroxidation.

¹Zaporizhzhia National University;

²O.O. Bohomolets Institute of Physiology National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv;
e-mail: 020190@ukr.net

REFERENCES

1. Booth WF, Roberts CK, Laye MJ. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol.* 2012;2(2):1143-1211.
2. Vollaard NBJ, Shearman JP, Cooper CE. Exercise-induced oxidative stress: myths, realities and physiological relevance. *Sports Med.* 2005;35(12):1045-1062.
3. Powers SK, Smuder AJ, Judge AR. Oxidative stress and disuse muscle atrophy: cause or consequence? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2012;15(3):240-245. doi: 10.1097/MCO.0b013e328352b4c2. Review.
4. Gomez-Cabrera MC, Domenech E, Viña J. Moderate exercise is an antioxidant: upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radic Biol Med.* 2008;44(2):126-131.
5. Malikov MV, Bohdanovska NV, Svatiev AV. Functional diagnostics in physical education and sport: Textbook (under the curriculum of the Ministry of health of Ukraine. ZNU.2006:199p. [Ukrainian].
6. Bogdanovskaya NV, Kotsuruba AV, Golubenko AV. Induction of oxidative and nitrosative stress in boys in adapting to physical stress during training and competitive periods. *Fiziol Zh.* 2016;62(2):47-56.[Ukrainian].
7. Karpman VL. Functional diagnosis in sports medicine. *Klin Med.* 1980;58(6): 3-7. [Russian].
8. Gavrilov VB, Gavrilova AG. The Measurement of diene conjugates in plasma blood by UV absorption of heptane and isopropanol extracts. *Lab Case.* 1988; 2:60-3.
9. Biochemical research methods in the clinic. *Guide Med.* 1969:652.
10. McCord J, Fridovich I.A. A quantitative test for superoxide radicals produced in biological systems. *Biochem J.* 1982;203(3): 551-8.
11. Conte D, Narindrasorasa KS, Sarkar B. In vivo and in vitro iron replaced zinc finger generates free radicals and causes DNA damage. *Eur J Biochem.* 1996; 271(9):5125-30.
12. Huwiler M., Kohler H. Pseudo-catalic degradation of hydrogen peroxide in lactoperoxidase iodide system. *Eur J Biochem.* 1984;1:69-74.
13. Uchiyama M, Mihara M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test. *Anal Biochem.* 1978;86(1):271-78.
14. Salter M, Knowles RG, Moncada S. Widespread tissue distribution, species and changes in activity of Ca(2+)-dependent and Ca(2+)-independent nitric oxide syntases. *FEBS Lett.* 1991;29 (1):145-149.
15. Chin SY, Pandey KN, Shi SJ, Kobori H, Moreno C, Navar LG. Increased activity and expression of Ca(2+)-dependent NOS in renal cortex of ANG II-infused hypertensive rats. *Am J Physiol.* 1999 Nov;277(5 Pt 2):F797-804.
16. Jsukahara H. Effect of NOS inhibitions on bone methabolizm in growing rats. *Am J Physiol.* 1996; (270)5:840-5.
17. Alikulov ZA., Lviv NP, Kretovich VL. Nitrate and nitrite is activity of milk. *BioChem.* 1980;45(9):1714-8. [Russian].
18. Shugaley VS, Kozina AS. The content of urea and arginase activity in the organs of rats during acclimatization to cold. *Fiziol Zh.* 1977;8:1199-1192.
19. Lowry OH, Rosebrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with the Folin reagent. *J Biol Chem.* 1951;193:265-75.
20. Yakovleva LV, Farkhutdynov RR, Yumaly SH, Tabynhulova SH. Assessment of functional state of cardio-vascular system and free radical oxidation processes in young athletes. *J New Med Tech.* 2014. doi: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/4783.pdf>
21. Shin YS, Yang SM, Kim MY, Lee LK. Analysis of the respirogram phase of Korean wrestling athletes compared with nonathletes for sports physiotherapy research. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(2):392-8.
22. Papaharalambus CA, Griendling KK. Basic mechanisms of oxidative stress and reactive oxygen species in cardiovascular injury. *Trends Cardiovasc Med.* 2007; 17(2):48-54.
23. McAllister RM, Sean CN, Harold LM. Vascular nitric oxide: effects of exercise training in animals. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33(1):173-8.

*Матеріал надійшов
до редакції 01.06.2018*