

ЗНАЧЕННЯ СИНТЕЗУ ОКСИДУ АЗОТУ В АДАПТАЦІЇ ЮНАКІВ І ДІВЧАТ ДО ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Богдановська Н. В.
Запорізький національний університет

Анотація. Розглянуто різні шляхи синтезу оксиду азоту при забезпеченні адаптації серцево-судинної системи практично здорових юнаків і дівчат у віці 20–25 років до тривалих і інтенсивних фізичних навантажень. Показано, що високий рівень фізичної працездатності організму забезпечується високою інтенсивністю окислювального кальційзалежного *de novo* шляху утворення оксиду азоту (за участю cNOS) і реутилізаційного, за участю нітратредуктази, шляху синтезу NO за умов зниженої активності неокислювального аргіназного шляху метаболізму L-аргініну і низької інтенсивності кальційнезалежного окислювального шляху синтезу NO (за участю iNOS). Встановлено можливі фізіологічні механізми впливу циркулюючих пулів метаболітів оксиду азоту на рівень фізичної працездатності організму.

Ключові слова: оксид азоту, шляхи синтезу, фізичні навантаження, адаптація, серцево-судинна система, юнаки та дівчата, 20–25 років, фізична працездатність.

© Богдановська Н. В., 2012



Аннотация. Богдановская Н. В. Значение синтеза оксида азота в адаптации юношей и девушек к физическим нагрузкам. Рассмотрены различные пути синтеза оксида азота при обеспечении адаптации сердечно-сосудистой системы юношей и девушек 20–25 лет к длительным и интенсивным физическим нагрузкам. Показано, что высокий уровень физической работоспособности организма обеспечивается высокой интенсивностью окислительного кальцийзависимого *de novo* пути образования NO (при участии cNOS) и реутилизационного пути синтеза оксида азота (при участии нитратредуктазы) при условии сниженной активности неокислительного аргиназного пути метаболизма L-аргинина и интенсивности кальцийнезависимого окислительного пути синтеза NO (при участии iNOS). Установлены возможные физиологические механизмы влияния циркулирующих метаболитов оксида азота на уровень физической работоспособности организма.

Ключевые слова: оксид азота, пути синтеза, физические нагрузки, адаптация, сердечно-сосудистая система, юноши и девушки, 20–25 лет, физическая работоспособность.

Abstract. Bogdanovska N. Value of synthesis of oxide of nitrogen in adaptation of young men and women to the physical loadings. Various methods of nitric oxide synthesis in ensuring adaptation of the cardiovascular system of young men and women 20–25 years to prolonged and intense physical stresses are researched. It is shown that high levels of physical performance of an organism are provided by a high intensity of oxidative calcium dependent *de novo* pathway of NO syntheses (with the participation of sNOS) and reutilizational way of nitric oxide synthesis (with the participation of nitrate reductase), on conditions of reduced activity of non-oxidizing arginase metabolic pathway of L-arginine and the intensity of calcium-independent oxidative way of NO synthesis (with the participation of iNOS). Are established the possible physiological mechanisms of influence of circulating nitric oxide metabolites to physical performance level of organism.

Key words: nitric oxide, ways of synthesis, physical stress, adaptation, cardiovascular system, young men and women, 20–25 years, physical performance.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальновідома 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 [1].

У той же час дослідженнями значної кількості фахівців в експериментах на тваринах, здорових людях та особах з тією або іншою формою патології (артеріальна гіпертонія, ішемічна хвороба серця, інфаркт міокарда, бронхіальна астма, первинна легенева гіпертензія, невротична депресія, цукровий діабет тощо) показана важлива роль оксиду азоту в регуляції діяльності серцево-судинної, дихальної, нервової, ендокринної, імунної та інших систем організму, які значною мірою визначають поточний рівень його фізичної працездатності та ступінь адаптації до фізичних навантажень [1; 3–5].

У зв'язку з цим висловлюється припущення про існування тісної функціональної залежності між станом системи синтезу оксиду азоту і рівнем фізичної працездатності організму, а саме про домінуючу роль NO в забезпеченні оптимальної форми адаптації організму до фізичних навантажень різного обсягу та інтенсивності.

На сьогодні відсутні експериментальні дослідження щодо вивчення стану основних шляхів синтезу NO в осіб із різним рівнем фізичної працездатності, різним ступенем адаптації до фізичних навантажень, а також динаміки функціонального стану системи синтезу NO під впливом фізичних навантажень різної спрямованості (аеробної, анаеробної, змішаної), інтенсивності, обсягу та тривалості.

Мета дослідження. У зв'язку з актуальністю та практичною значимістю зазначеної проблеми метою даного дослідження було встановити роль різних шляхів синтезу оксиду азоту в забезпеченні адаптації серцево-судинної системи людини до фізичних навантажень.

Методи дослідження. У рамках цього дослід-

ження було проведено обстеження практично здорових юнаків і дівчат у віці 20–25 років, які були поділені на контрольну групу (нетреновані особи) з традиційним режимом рухової активності (дворазові заняття фізичною культурою у вищому навчальному закладі) та основну групу (треновані особи) зі стажем занять спортом більше 10 років – професійні спортсмени, члени збірних України із ігрових видів спорту.

На всіх етапах дослідження реєстрували показники фізичної працездатності, стану насосної, систолічної та діастолічної функції серця, системи кровообігу, ендотелію судин, системи синтезу оксиду азоту та неокислювального метаболізму L-аргінину в плазмі крові. При проведенні дослідницької частини роботи морально-етичні норми відносно обстежених осіб були дотримані.

Оцінку рівня фізичної працездатності проводили за допомогою субмаксимального тесту PWC₁₇₀ на велоергометрі «Полар» (випробуваний виконував два навантаження по 5 хвилин із 3-хвилинним інтервалом відпочинку між ними) – розраховували абсолютну та відносну величини загальної фізичної працездатності (aPWC₁₇₀, кгм·хв⁻¹, і vPWC₁₇₀, кгм·хв⁻¹·кг⁻¹), абсолютну та відносну величини максимального споживання кисню (aMCK, л·хв⁻¹, і vMCK, мл·хв⁻¹·кг⁻¹) [6].

Оцінку стану насосної, систолічної та діастолічної функції серця, системи кровообігу проводили за допомогою ультразвукового дослідження серця методом ехокардіографії. Визначали частоту серцевих скорочень (ЧСС, уд·хв⁻¹), ударний (УОК, мл) і хвилинний (ХОК, л·хв⁻¹) об'єми крові, загальний периферичний опір судин (ЗПОС, дін²·с·см⁻⁵), кінцево-діастолічний діаметр правого (КДДпш, см) і лівого (КДДлш, см) шлуночків серця, кінцево-систолічний діаметр правого (КСДпш, см) і лівого (КСДлш, см) шлуночків серця, кінцево-систолічний (КСО, мл) і кінцево-діастолічний (КДО, мл) об'єми серця, величину фракції викиду крові (Фв, %), індекс провідності (DS, %), швидкості швидкого (Е, мл·с⁻¹) та повільного (А, мл·с⁻¹) наповнення правого (Епш і Апш) і лівого (Елш і Алш) шлуночків серця, а також величини спів-

відношень Еп/Ап (ум. од.) і Ел/Ал (ум. од.) [8].

Для оцінки функціонального стану судинного ендотелію за величиною ендотелійзалежної вазомоторної реакції плечової артерії (ЕЗВДР) використовували пробу з реактивною гіперемією плечової артерії з реєстрацією таких показників: вихідні величини діаметра плечової артерії (Dпа, мм), лінійної (ЛШК, см·с⁻¹) і об'ємної (ОШК, мл·с⁻¹) швидкості кровотоку, величини даних показників на піку розвитку реактивної гіперемії (відповідно Dпаг, мм; ЛШКг, см·с⁻¹; ОШКг, мл·с⁻¹) і значення приросту зазначених параметрів при проведенні проби (відповідно ΔDпа, %; ΔЛШК, %; ΔОШК, %) [10].

Для оцінки функціонального стану системи синтезу оксиду азоту в плазмі крові визначали величини біохімічних показників, що характеризують інтенсивність синтезу оксиду азоту за двома альтернативними шляхами метаболізму – неокислювальному та окислювальному *de novo* [2].

Інтенсивність окисної деградації аргініну, при якій утворюється оксид азоту *de novo*, оцінювали за активністю різних ізоформ NO-синтази – кальційзалежної конститутивної (визначалася сумарна активність eNOS+nNOS=cNOS, пмоль·хв⁻¹·мг⁻¹ білка) і кальційнезалежної індукційної (iNOS, пмоль·хв⁻¹·мг⁻¹ білка), а також за рівнем кінцевих метаболітів оксиду азоту – нітрит- (NO₂⁻, пмоль·мг⁻¹ білка) і нітрат- (NO₃⁻, пмоль·мг⁻¹ білка) аніонів. Інтенсивність реутилізаційного синтезу оксиду азоту оцінювали, визначаючи NADPH-залежну нітратредуктазну активність (нітратредуктаза, нмоль·хв⁻¹·мг⁻¹ білка). Інтенсивність неокислювального метаболізму L-аргініну оцінювали, визначаючи активність аргінази (Arg, нмоль·хв⁻¹·мг⁻¹ білка) [12].

Використовуючи первинні експериментальні дані, розраховували також величини деяких співвідношень між біохімічними показниками:

- частку вмісту нітрит-аніона (% NO₂⁻, %), мар-

керу оксигенації крові в сумарному пулі циркулюючих стабільних метаболітів оксиду азоту, за формулою % NO₂⁻=[NO₂⁻] x 100/([NO₂⁻]+[NO₃⁻]);

– частку активності iNOS (% iNOS, %) у сумарній активності NO-синтази, за формулою % iNOS= активність iNOS x 100/ активність (iNOS+cNOS=ΣNOS).

Усі експериментальні матеріали, отримані в ході дослідження, були оброблені з використанням програми «Statistica-7».

Виклад основного матеріалу. Аналіз результатів, отриманих у дослідженні, дозволив встановити наявність істотних відмінностей у рівні фізичної працездатності та аеробних можливостей нетренованих і тренуваних осіб.

Для тренуваних юнаків та дівчат був характерний достовірно (p<0,001) більш високий рівень їхньої фізичної працездатності та аеробних можливостей у порівнянні з нетренованими однолітками. За відносними величинами PWC₁₇₀ тренувани хлопці та дівчата випереджали своїх однолітків відповідно на 48,08±2,29 % і 48,16±1,16 %, а за відносними величинами MCK – відповідно на 26,14±2,15 % і 20,26±1,10 % (табл. 1).

Отримані результати, а також відомі літературні дані про те, що основним фактором, що лімітує зростання фізичної працездатності, є стан системи кровообігу, дозволили припустити і більш оптимальний стан насосної, систолічної та діастолічної функції серця в тренуваних осіб, тобто тих, які характеризуються більш високим рівнем фізичної працездатності.

Дійсно, у тренуваних юнаків і дівчат були зареєстровані більш кращі, ніж у нетренованих осіб, величини практично всіх показників, що характеризують насосну функцію серця (табл. 2).

Показано, що більш високий рівень фізичної працездатності тренуваних юнаків та дівчат забезпечувався, зокрема, за рахунок більш високих, ніж у не-

Таблиця 1

Величини загальної фізичної працездатності та аеробної продуктивності у нетренованих і тренуваних дівчат та юнаків, $\bar{X} \pm t$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані (n=78)	тренувані (n=87)	нетреновані (n=81)	тренувані (n=72)
aPWC ₁₇₀ , кгм·хв ⁻¹	731,84±43,13	1405,32±49,19***	1224,39±51,30	2575,19±178,55***
вPWC ₁₇₀ , кгм·хв ⁻¹ ·кг ⁻¹	13,61±0,97	20,24±0,58***	18,33±0,72	27,14±1,49***
aMCK, л·хв ⁻¹	2,68±0,95	4,16±0,11***	3,76±0,11	6,74±0,39***
вMCK, мл·хв ⁻¹ ·кг ⁻¹	49,88±2,75	59,99±1,27**	56,39±1,71	71,14±3,26***

Примітка: ** – p<0,01, *** – p<0,001 порівняно з нетренованими особами

Таблиця 2

Величини показників насосної функції серця в нетренованих і тренуваних дівчат та юнаків, $\bar{X} \pm t$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані (n=78)	тренувані (n=87)	нетреновані (n=81)	тренувані (n=72)
ЧСС, уд·хв ⁻¹	67,78±1,22	61,08±2,49*	66,67±1,41	61,99±1,85*
УОК, мл	62,49±2,71	94,48±2,68***	64,82±3,13	98,08±5,76***
ХОК, л·хв ⁻¹	4,21±0,12	5,76±0,27***	4,45±0,21	6,08±0,42**

Примітка: * – p<0,05, ** – p<0,01, *** – p<0,001 порівняно з нетренованими особами



Таблиця 3

Величини показників систолічної функції серця в нетренованих і тренуваних дівчат та юнаків, $\bar{X} \pm m$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані (n=78)	тренувані (n=87)	нетреновані (n=81)	тренувані (n=72)
КСДлш, см	4,08±0,17	2,85±0,02***	3,92±0,10	3,11±0,17***
КСДпш, см	2,05±0,11	1,81±0,10*	2,11±0,05	2,24±0,12
КСО, мл	45,05±2,28	29,41±1,04***	49,94±2,05	40,08±4,57*
Фв, %	46,23±2,80	78,19±1,15***	58,8±2,10	71,67±2,35***
DS, %	23,53±2,84	40,12±1,30***	25,91±2,22	41,76±2,09***

Примітка: * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$ порівняно з нетренованими особами

Таблиця 4

Величини показників діастолічної функції серця в нетренованих і тренуваних дівчат та юнаків, $\bar{X} \pm m$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані (n=78)	тренувані (n=87)	нетреновані (n=81)	тренувані (n=72)
КДДлш, см	4,77±0,09	5,18±0,06**	5,24±0,07	5,32±0,15
КДДпш, см	3,22±0,16	4,09±0,06***	4,06±0,16	4,09±0,08
КДО, мл	123,89±3,35	133,12±2,63*	138,16±8,87	141,76±2,71
Елш, мл·с ⁻¹	63,91±3,69	91,2±3,63***	67,27±3,16	78,83±8,00*
Алш, мл·с ⁻¹	39,03±1,82	43,03±2,65	36,86±1,89	47,25±3,99*
Е/А лш, ум. од.	1,67±0,15	2,18±0,12**	1,86±0,12	1,68±0,08
Епш, мл·с ⁻¹	64,87±1,76	84,12±4,29***	77,71±5,11	71,21±4,90
Апш, мл·с ⁻¹	30,94±1,72	34,77±2,06	44,78±3,39	40,76±3,8
Е/Апш, ум. од.	2,16±0,17	2,48±0,15	1,82±0,17	1,82±0,12

Примітка: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з нетренованими особами

тренуваних осіб, значень ударного (УОК, відповідно на 51,18±1,41 % та на 51,31±2,10 %) і хвилинного (ХОК, відповідно на 39,79±2,44 % і на 36,73±2,23 %) об'ємів крові і зменшення частоти серцевих скорочень (ЧСС, відповідно на 9,98±2,27 % і на 7,02±1,65 %).

Практично аналогічні дані були відзначені нами і щодо показників, які характеризують систолічну функцію серця (табл. 3). Незалежно від статі, у представників групи тренуваних осіб у 1,5–2 рази були вище величини фракції викиду крові (Фв, відповідно на 69,13±1,08 % серед дівчат і на 21,89±1,50 % серед юнаків) та серцевої провідності (DS, відповідно на 70,49±1,10 % і на 61,16±1,37 %), а також достовірно менші значення кінцево-сistolічних діаметрів лівого (КСДлш, відповідно на 30,25±1,01 % серед дівчат і на 20,55±1,93 % серед юнаків) і правого (КСДпш, відповідно на 11,63±1,34 % і на 6,20±2,56 %) шлуночків серця та кінцево-сistolічного об'єму серця (КСО, відповідно на 34,71±1,10 % і на 19,75±2,44 %).

Досить суттєвими виявилися розбіжності й у величинах показників, що характеризують діастолічну функцію серця обстежуваних обох груп, які були кращими саме в групі тренуваних осіб (табл. 4).

У дівчат-спортсменок відзначалися достовірно більш високі, порівняно з нетренованими дівчатами, величини кінцево-діастолічних діаметрів лівого (КДДлш, на 21,39±2,86 %) і правого (КДДпш, на 21,95±3,92 %) шлуночків серця, кінцево-діастолічного об'єму (КДО, на 6,94±1,62 %), швидкості швидкого наповнення лівого (Елш, на 42,69±1,40 %) і правого (Епш, на 29,67±2,64 %) шлуночків серця, а також величин співвідношення швидкостей швидкого та повільного наповнення лівого шлуночка серця (Е/Алш, на 30,45±1,28 %). Серед тренуваних юнаків спостерігалися достовірно більш високі величини швидкостей швидкого та повільного наповнення лівого шлуночка серця (відповідно на 17,19±2,72 % і на 28,18±2,34 %).

У цілому, у тренуваних осіб спостерігали більш високий рівень функціонування серця, а це, у свою чергу, могло бути наслідком більш високого функціонального стану судинного ендотелію, у тому числі, можливо, за рахунок більш інтенсивного синтезу оксиду азоту в його клітинах.

На користь цього припущення свідчили як результати порівняльного аналізу результатів у пробі з реактивною гіперемією плечової артерії, так і дані

біохімічних досліджень. Як відомо, величина реактивної гіперемії напряму залежить від синтезу оксиду азоту в ендотелії судин і відображає функціональний стан ендотелію, як клітин, що синтезують оксид азоту.

Вдалося встановити, що в тренуваних осіб, незалежно від статі, був більш високий функціональний стан судинного ендотелію, про що свідчили достовірно вищі величини приросту, на піку проби реактивної гіперемії, діаметра плечової артерії (ΔD_{pa} , на $70,43 \pm 3,02$ % серед дівчат і на $18,51 \pm 1,20$ % серед юнаків), лінійної ($\Delta LШК$, відповідно на $68,80 \pm 1,27$ % і на $27,68 \pm 1,33$ %) і об'ємної ($\Delta OШК$, відповідно на $18,98 \pm 1,28$ % і на $8,23 \pm 1,07$ %) швидкостей кровотоку, а також достовірно нижчі величини загального периферичного опору судин (ЗПОС, відповідно на $21,47 \pm 1,06$ % і на $26,85 \pm 1,12$ %) (табл. 5).

Ще більш переколивими були результати порівняльного аналізу стану системи синтезу оксиду азоту в осіб із різним рівнем тренуваності і, як уже було

показано, різним рівнем фізичної працездатності та функціонального стану серцево-судинної системи (табл. 6).

Було встановлено, що в тренуваних осіб, незалежно від статі, відзначалася більш висока інтенсивність кальційзалежного *de novo* синтезу оксиду азоту з L-аргініну за участю конститутивної NO-синтази (сNOS) та його ресинтезу при відновленні стабільних окислених метаболітів оксиду азоту (нітрит- та нітрат-аніонів), і, навпаки, більш низька інтенсивність окисного кальційнезалежного шляху синтезу NO *de novo* за участю індукцйбельної NOS (іNOS) та неокислювального аргіназного шляху метаболізму L-аргініну за участю аргінази, що конкурує з сNOS за спільний субстрат (L-аргінін).

У тренуваних юнаків і дівчат ми спостерігали статистично значимо більш високі, ніж у їхніх нетренуваних однолітків, значення активності сNOS (на $69,34 \pm 2,29$ % серед дівчат і на $45,81 \pm 1,56$ % серед

Таблиця 5

Величини показників судинної реакції в нетренуваних і тренуваних дівчат та юнаків на піку проби реактивної гіперемії, $\bar{X} \pm m$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетренувані (n=78)	тренувані (n=87)	нетренувані (n=81)	тренувані (n=72)
ΔD_{pa} , %	19,94 \pm 1,27	33,98 \pm 3,62***	24,62 \pm 1,08	29,18 \pm 0,72**
$\Delta LШК$, %	65,81 \pm 6,34	111,09 \pm 4,95***	34,54 \pm 2,62	44,10 \pm 2,32**
$\Delta OШК$, %	141,47 \pm 10,69	168,32 \pm 8,55*	154,47 \pm 5,67	167,19 \pm 2,14*
ЗПОС, дин ² ·с·см ⁻⁵	2021,16 \pm 55,24	1587,31 \pm 19,08**	2919,91 \pm 200,39	2135,97 \pm 101,73**

Примітка: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з нетренуваними особами

Таблиця 6

Величини показників системи синтезу оксиду азоту в нетренуваних і тренуваних дівчат та юнаків, $\bar{X} \pm m$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетренувані (n=78)	тренувані (n=87)	нетренувані (n=81)	тренувані (n=72)
iNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	13,83 \pm 1,47	8,54 \pm 1,47*	14,44 \pm 1,08	12,34 \pm 0,87*
сNOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	28,35 \pm 2,18	48,01 \pm 4,5***	40,11 \pm 3,23	58,49 \pm 3,85**
Сумарна NOS, пмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	42,18 \pm 2,90	56,55 \pm 5,42*	54,55 \pm 2,91	70,83 \pm 4**
Нітратредуктаза, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	3,78 \pm 0,23	4,62 \pm 0,25*	3,47 \pm 0,19	3,77 \pm 0,15
Аргіназа, нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка	2,69 \pm 0,32	0,99 \pm 0,27***	2,09 \pm 0,28	1,21 \pm 0,16**
NO ₂ ⁻ , пмоль·мг ⁻¹ білка	168,62 \pm 28,29	296,87 \pm 36,22**	177,12 \pm 18,1	324,54 \pm 20,56***
NO ₃ ⁻ , нмоль·мг ⁻¹ білка	7,76 \pm 0,82	1,36 \pm 0,14***	9,30 \pm 0,69	1,67 \pm 0,15***
% iNOS, %	32,75 \pm 2,59	14,83 \pm 1,78***	27,11 \pm 2,55	17,75 \pm 1,30**
% нітриту, %	1,878 \pm 0,398	6,702 \pm 0,264***	1,648 \pm 0,207	6,592 \pm 0,237***

Примітка: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з нетренуваними особами

Таблиця 7

Коефіцієнти кореляції (r) між рівнем фізичної працездатності ($vPWC_{170}$) і показниками системи синтезу NO в нетренованих і тренуваних юнаків та дівчат, $\bar{X} \pm m$

Показники	Дівчата		Юнаки	
	нетреновані (n=78)	тренувани (n=87)	нетреновані (n=81)	тренувани (n=72)
iNOS	-0,59±0,22	-0,64±0,23*	-0,55±0,22	-0,71±0,16*
cNOS	0,68±0,18	0,63±0,22*	0,63±0,20	0,66±0,19*
Сумарна NOS	0,67±0,18	0,66±0,19*	0,56±0,23	0,62±0,21*
Нітратредуктаза	0,33±0,30	0,63±0,22*	0,59±0,22	0,69±0,18*
Аргіназа	0,56±0,23	0,69±0,17*	0,43±0,27	0,65±0,19*
NO ₂ ⁻	0,54±0,23	-0,27±0,31	-0,28±0,31	-0,27±0,31
NO ₃ ⁻	0,56±0,23	0,64±0,23*	0,68±0,18	0,66±0,19*
% iNOS	-0,80±0,12	-0,67±0,18*	-0,59±0,22	-0,75±0,15**
% нітриту	0,40±0,28	0,71±0,16*	0,58±0,22	0,66±0,19

Примітка: достовірність * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з нетренованими особами

юнаків), сумарної NOS (відповідно на 34,06±2,12 % і на 29,84±1,70 %), нітратредуктази (відповідно на 22,31±1,49 % і на 8,05±1,61 %), вмісту нітрит-аніона (відповідно на 76,50±1,62 % і на 83,23±1,51 %), їхні частки в сумарному пулі стабільних метаболітів оксиду азоту (відповідно на 345,88±1,70 % і на 300,01±1,52 %) і, навпаки, статистично значимо більш низькі величини активності iNOS (відповідно на 38,27±1,41 % і на 14,55±1,29 %), її частки в сумарній активності NOS (відповідно на 54,71±1,21 % і на 34,52±1,12 %), більш низькі величини концентрації нітрат-аніона (відповідно на 82,43±1,01 % і на 82,02±1,02 %) та активності аргінази (на 63,20±1,31 % серед дівчат і на 42,11±1,15 % серед юнаків).

Крім цього, з урахуванням результатів проби з реактивною гіперемією, можна було припустити, що підвищення активності конститутивної NOS (cNOS) забезпечувалося, в основному, за рахунок підвищення активності ендотеліальної NOS (eNOS).

Істотним підтвердженням вищесказаного стали результати кореляційного аналізу між величинами загальної фізичної працездатності обстежених осіб та показниками, що характеризують стан системи синтезу оксиду азоту (табл. 7).

Отримані при обстеженні тренуваних юнаків та дівчат коефіцієнти кореляції переконливо засвідчили високий ступінь функціональної залежності рівня фізичної працездатності від активності лише конститутивної, але не індукційної NO-синтази, від активності нітратредуктази та величини пулів і частки нітрит-аніонів у загальному пулі стабільних метаболітів оксиду азоту. Навпаки, підвищеним рівням фізичної працездатності відповідали більш низькі величини активності не лише індукційного синтезу оксиду азоту (активності iNOS), але також і активності аргінази, яка конкурує з cNOS за субстрат.

Важливо вказати на те, що високий ступінь функціональної залежності між рівнем фізичної працездатності та показниками системи синтезу NO був зареєстрований нами і серед нетренованих юнаків та дівчат.

У цілому, результати комплексного обстеження тренуваних юнаків і дівчат дозволили констатувати, що процес довготривалої адаптації серцево-судинної системи їхнього організму забезпечується за рахунок підвищення інтенсивності конститутивного de novo і реутилізаційного шляхів синтезу оксиду азоту, вмісту циркулюючого нітрит-аніона і зниження рівня циркулюючого нітрат-аніона, що сприяє зниженню судинного опору, підвищенню реактивності судин, оптимізації насосної, систолічної та діастолічної функцій серця і, як наслідок, підвищенню рівня фізичної працездатності організму.

Висновки. Відповідно до мети і завдань дослідження проведено аналіз стану системи синтезу оксиду азоту, судинного ендотелію, серцево-судинної системи, фізичної працездатності осіб із різним ступенем адаптації до тривалих і інтенсивних фізичних навантажень.

На основі отриманих даних зроблені такі висновки:

1. В осіб із різним рівнем тренуваності (високотреновані та нетреновані) відзначаються суттєві відмінності в рівні фізичної працездатності, стані насосної, систолічної та діастолічної функцій серця, системи кровообігу, функціональному стані судинного ендотелію та стані системи синтезу оксиду азоту. Для високотренованих осіб 20–25 років (професійні спортсмени, члени збірних України з ігрових видів спорту) характерним є більш високий рівень фізичної працездатності – на 48,08±2,29 % ($p < 0,001$) серед дівчат і на 48,16±1,16 % ($p < 0,001$) серед юнаків, та аеробних можливостей організму – відповідно на 26,14±2,15 % ($p < 0,001$) і на 20,26±1,10 %; ($p < 0,001$).

2. Високий рівень фізичної працездатності забезпечується високим ступенем адаптації серцево-судинної системи до тривалих фізичних навантажень високої інтенсивності, який більш виражений в осіб жіночої статі:

– у тренуваних дівчат адаптивні зміни в стані системи кровообігу проявляються в зниженні кінцево-сistolічного об'єму на 34,71±1,10 % ($p < 0,001$),

кінцево-сistolічного діаметра лівого шлуночка серця на $30,25 \pm 1,01$ % ($p < 0,001$), загального периферичного опору судин на $21,47 \pm 1,06$ % ($p < 0,01$), підвищенні кінцево-діастолічного об'єму на $6,94 \pm 1,62$ % ($p < 0,05$), кінцево-діастолічного діаметра лівого на $21,39 \pm 2,86$ % ($p < 0,001$) і правого – на $21,95 \pm 3,92$ % ($p < 0,001$) шлуночків серця, ударного на $51,18 \pm 1,41$ % ($p < 0,001$) та хвилинного на $39,79 \pm 2,44$ % ($p < 0,001$) об'ємів крові, фракції викиду крові на $69,13 \pm 1,08$ % ($p < 0,001$), індексу серцевої провідності на $70,49 \pm 1,10$ % ($p < 0,001$), швидкостей швидкого наповнення лівого на $42,69 \pm 1,40$ % ($p < 0,001$) і правого на $29,67 \pm 2,64$ % ($p < 0,001$) шлуночків серця;

– у тренованих юнаків відповідні зміни в стані серцево-судинної системи проявляються також у зниженні кінцево-сistolічного об'єму серця на $19,75 \pm 2,44$ % ($p < 0,05$), кінцево-сistolічного діаметра лівого шлуночка серця на $20,55 \pm 1,93$ % ($p < 0,01$), загального периферичного опору судин на $26,85 \pm 1,12$ % ($p < 0,01$) і, навпаки, у підвищенні ударного на $51,31 \pm 2,10$ % ($p < 0,001$) та хвилинного на $36,73 \pm 2,23$ % ($p < 0,01$) об'ємів крові, фракції викиду крові на $21,89 \pm 1,50$ % ($p < 0,001$), індексу серцевої провідності на $61,16 \pm 1,37$ % ($p < 0,001$), швидкості швидкого на $17,19 \pm 2,72$ % ($p < 0,05$) та повільного – на $28,18 \pm 2,34$ % ($p < 0,05$) наповнення лівого шлуночка серця.

3. Високий ступінь адаптації серцево-судинної системи організму людини до тривалих фізичних навантажень високої інтенсивності, що сприяє високій фізичній працездатності спортсменів, забезпечується вираженими позитивними перебудовами всіх ланок системи синтезу оксиду азоту та функціонального стану судинного ендотелію і є більш вираженими в осіб жіночої статі:

– адаптивні зміни в системі синтезу оксиду азоту та функціональному стані судинного ендотелію в тренованих дівчат полягають у підвищенні інтенсивності окисного кальційзалежного (конститутивного) de novo шляху утворення NO на $69,34 \pm 2,29$ % ($p < 0,001$), неокислювального реутилізаційного шляху утворення NO на $22,31 \pm 1,49$ % ($p < 0,05$), циркулюючих пулів нітрит-аніона, маркера оксигенації на $76,50 \pm 1,62$ %

($p < 0,001$), зниженні інтенсивності окисного кальцій-незалежного (індуцибельного) de novo шляху синтезу NO на $38,27 \pm 1,41$ % ($p < 0,05$), неокислювального аргіназного шляху деградації L-аргініну, що конкурує з cNOS за спільний субстрат на $63,20 \pm 1,31$ % ($p < 0,001$), циркулюючих пулів нітрат-аніона, маркера утворення і нерадикальної деградації пероксинітриду на $82,43 \pm 1,01$ % ($p < 0,001$) та підвищенні ступеня вираженості ендотелійзалежної вазодилатаційної реакції на $70,43 \pm 3,02$ % ($p < 0,001$);

– у тренованих юнаків зміни в стані системи синтезу оксиду азоту та функціональному стані судинного ендотелію проявляються в підвищенні активності конститутивної NO-синтази на $45,81 \pm 1,56$ % ($p < 0,01$), вмісту нітрит-аніона на $83,23 \pm 1,51$ % ($p < 0,001$) та, навпаки, зниженні активності індукційної NOS на $14,55 \pm 1,29$ % ($p < 0,05$), аргінази на $42,11 \pm 1,15$ % ($p < 0,01$) та циркулюючих пулів нітрат-аніона на $82,02 \pm 1,02$ % ($p < 0,001$) та підвищенні ступеня вираженості ендотелійзалежної вазодилатаційної реакції на $18,51 \pm 1,20$ % ($p < 0,01$).

4. Аналіз результатів дослідження дозволив констатувати існування сильного кореляційного зв'язку між рівнем фізичної працездатності та дослідженими біохімічними параметрами, що характеризують функціональний стан системи синтезу оксиду азоту: для високотренованих осіб, незалежно від статі, характерним є сильний позитивний кореляційний зв'язок $r_{PWC_{170}}$ з величинами активності конститутивної та сумарної NOS, нітратредуктази, концентрації нітрит-аніона, їхньої частки в загальному пулі стабільних метаболітів оксиду азоту ($R = +0,6 - +0,7$) і сильний від'ємний зв'язок зі значеннями активності індукційної NOS, аргінази, частки індукційної NOS у загальному пулі NO-синтази і вмісту нітрат-аніона ($R = -0,6 \dots -0,7$).

Перспективи подальших досліджень. Довести важливу роль оксиду азоту в забезпеченні адаптації до фізичних навантажень серед здорових осіб різної статі та з різним рівнем функціональної підготовленості до фізичних навантажень, визначити особливості стану системи синтезу NO в осіб із різним рівнем адаптації до різноманітних факторів та основні закономірності змін у даній системі.

Література:

1. Абакумов М. М. Оксид азота и свертывающая система крови в клинике / М. М. Абакумов, П. П. Голиков // Вестник Российской АМН. – 2005. – № 10. – С. 53–56.
2. Богдановська Н. В. Особливості обміну аргініну й синтезу оксиду азоту в юнаків при адаптації до фізичних навантажень у тренувальному та змагальному періоді / Н. В. Богдановська, А. В. Коцюрuba, М. В. Маліков // Фізіологічний журнал. – 2011. – Т. 57, № 1. – С. 37–40.
3. Братусь В. В. Оксид азота как регулятор защитных и гомеостатических реакций организма / В. В. Братусь // Український ревматологічний журнал. – 2003. – № 4 (14). – С. 3–11.
4. Гавриш А. С. Морфология дисфункции сосудистого эндотелия при хроническом стрессе и атерогенезе / А. С. Гавриш // Український кардіологічний журнал. – 2005. – № 1. – С. 91–95.
5. Журавлева И. А. Роль окиси азота в кардиологии и гастроэнтерологии / И. А. Журавлева, И. А. Мелентьев, Н. А. Виноградов // Клин. мед. – 1997. – Т. 75. – № 4. – С. 18–21.
6. Карпман В. Л. Спортивная медицина: [учеб. для ин-тов физ. культ.] / В. Л. Карпман – М. : Физкультура и спорт, 1980. – 349 с.
7. Марков Х. М. Оксид азота и сердечно-сосудистая система / Х. М. Марков // Успехи физиологических наук. – 2001. – Т. 32. – № 3. – С. 49–65.
8. Митьков В. В. Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике / В. В. Митьков, В. А. Сандрикова. – М. : Видар, 1998. – 360 с.
9. Реутов В. П. NOсинтазная и нитритредуктазная компоненты цикла оксида азота / В. П. Реутов, Е. Г. Сорокина // Биохимия – 1998. – Т. 63, вып. 7. – С. 1029–1040.
10. Deedwania P. C. Endothelin? The bed actor in the play: a marker or cardiovascular disease / P. C. Deedwania //

J Am. Coll Cardiol. – 1999. – № 33. – P. 939–942.

11. *Haram P. M. Adaptation of endothelium to exercise training: insights from experimental studies / P. M. Haram, O. J. Kemi, U. Wisloff // Front Biosci.* – 2008. – Jan 1;13. – P. 336–346.

12. *Moncada S. The L-arginine – nitric oxide pathway / S. Moncada, A. Higgs // New Engl. J.* 1993. – 329, № 27. – P. 2002–2012.