

УДК 612: 015.3:796.015.52-053

ГЕНДЕРНІ ВІДМІННОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ L-АРГІНІНУ В СПОРТСМЕНІВ

Богдановська Н.В.

*Запорізький національний університет, Запоріжжя, Україна
E-mail: nadezhdabg@rambler.ru*

Проведено дослідження 26 спортсменів високої кваліфікації різної статі, адаптованих до тривалого виконання важкої фізичної роботи високої інтенсивності. Показано наявність гендерних відмінностей в окисному та неокисному метаболізмі L-аргініну, в т.ч. в системі синтезу оксиду азоту (окисному de novo і неокисному реутилізаційному шляхах синтезу NO), на різних етапах їхньої змагальної діяльності. На етапі максимальних функціональних можливостей і адаптації (початок змагального періоду) у дівчат превалював неокисний метаболізм аргініну за участю аргінази над окисною деградацією L-аргініну за участю NO-синтаз. Під час зниження функціональних можливостей (деадаптації у середній та кінцевий період змагань) необхідний рівень синтезу оксиду азоту забезпечується у дівчат переважно за рахунок ресинтезу оксиду азоту із його стабільних метаболітів, так і юнаків – за рахунок збільшення окисного de novo синтезу оксиду азоту (як конститутивного, так і індукційного).

Ключові слова: L-аргінін, NO-синтази, шляхи синтезу, фізичні навантаження, високотреновані спортсмени, юнаки, дівчата, фізична працездатність.

ВСТУП

Гендерні відмінності в реакції організму при фізичних навантаженнях за рахунок системи синтезу оксиду азоту наразі мають не тільки важливе теоретичне значення для загальної фізіології та фізіології м'язової діяльності, але і суттєве практичне – у зв'язку з можливістю організації науково-обґрунтованої системи біохімічної корекції функціонального стану організму в умовах довготривалої дії екстремальних зовнішніх факторів.

На сьогодні, більшість публікацій, пов'язаних з проблемою оксиду азоту, присвячена питанням оцінки ефективності його практичного використання в якості структурного елементу різноманітних біологічно активних добавок, але не вивченню фізіологічних механізмів впливу оксиду азоту на функціональний стан та функціональні можливості організму під час систематичного виконання м'язової роботи та особливостей перебудови системи синтезу NO на різних етапах тренувальної та змагальної діяльності [1–4].

На жаль відсутні комплексні наукові дослідження, присвячені вказаним питанням, особливо що стосується участі різних шляхів біосинтезу оксиду азоту – окисного de novo та неокисного реутилізаційного – в забезпеченні оптимальних рівнів оксиду азоту за різних функціональних станів, а також гендерні відмінності цих процесів.

Раніше нами було досліджено синтез оксиду азоту у спортсменів різної статі в

тренувальний період за адаптації до фізичних навантажень [5-8].

Безсумнівна актуальність і практична значимість перерахованих питань стали передумовами для проведення даного дослідження. Метою цієї роботи було вивчення гендерних відмінностей в метаболізмі L-аргініну у високотренованих спортсменів високої кваліфікації.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

В експерименті взяли участь 26 спортсменів високої кваліфікації у віці від 20 до 25 років, що систематично (протягом 10-12 років) виконували м'язову роботу високого об'єму та інтенсивності.

В плазмі крові (збагаченій білокрівцями) юнаків та дівчат визначали біохімічні показники які характеризують інтенсивність обміну аргініну за двома альтернативними (неокисному аргіназному й окисному NO-синтазному) шляхами метаболізму. Інтенсивність неокисного метаболізму оцінювали, визначаючи активність аргінази й вміст сечовини, що утворюється при роботі цього ферменту. Інтенсивність окисної деградації аргініну (за якої утворюється оксид азоту шляхом de novo синтезу) оцінювали за активністю різних ізоферментів NO-синтаз – кальційзалежної конститутивної (визначалася сумарна активність eNOS + pNOS=cNOS,) і кальційнезалежної індукційної (iNOS) синтази оксиду азоту, а також за рівнем циркулюючих стабільних метаболітів оксиду азоту – нітрит- (NO_2^-) і нітрат- (NO_3^-) аніонів. Оцінювали інтенсивність неокисної реутилізації нітрат-аніонів для ресинтезу оксиду азоту (salvage), визначаючи НАДФ-залежну нітратредуктазну активність. Всі вказані показники (в розрахунку на 1мг загального білка плазми) визначали в плазмі крові згідно описаних раніше методів [5, 8].

Використовуючи визначені значення показників, розраховували величини співвідношень цих показників, а саме:

- величину індексу оксигенації (IO, умовні одиниці, у.о.) за наступною формулою $IO = [\text{вміст } \text{NO}_2^-] \times 1000 / [\text{вміст } \text{NO}_3^-] + [\text{вміст сечовини}]$;
- частку вмісту нітрит-аніона ($\% \text{NO}_2^-$, %) в сумарному пулі стабільних метаболітів оксиду азоту за формулою $\% \text{NO}_2^- = [\text{вміст } \text{NO}_2^-] \times 100 / [\text{вміст } \text{NO}_3^-] + [\text{вміст } \text{NO}_2^-]$;
- частку активності iNOS ($\% \text{iNOS}$, %) у сумарній активності NO-синтаз за формулою: $\% \text{iNOS} = \text{активність iNOS} / \text{активність} [\text{iNOS} + \text{cNOS}]$;
- величину співвідношення (в у.о.) активностей неокисного (аргіназного) і різних шляхів окисного (NO-синтазного) метаболізму аргініну через величину відношення активностей аргінази й сумарної та різних ізоферментів NOS (активність аргінази / активність [iNOS + cNOS], активність аргінази / активність iNOS і активність аргінази / активність cNOS);
- величину співвідношення (в у.о.) окисного de novo і неокисного salvage шляхів синтезу оксиду азоту, визначаючи величину співвідношення активностей ферментів цих різних шляхів синтезу оксиду азоту (активність нітратредуктази / сумарна активність NOS, активність нітратредуктази / активність iNOS і активність нітратредуктази / активність cNOS).

Розраховували відносні зміни (D, %) досліджених біохімічних показників щодо певного періоду або контролю за наступною формулою $D = 100 \times (X_i - X_n) / X_n$.

Біохімічні показники визначали в плазмі крові тренуваних юнаків та дівчат три рази: на початку, у середині й наприкінці змагального періоду (ЗП). Тривалість підготовчого періоду, що передував ЗП, складала 3 місяці, в процесі якого фізичні навантаження виконувалися за відсутності факторів психологічного стресу. У змагальному періоді (тривав 8 місяців) фізичні навантаження виконувалися як у тренувальному безстресовому режимі, так і в додаткових стресових умовах відповідальних змагань.

Обрана схема ґрунтувалася на тому, що ми оцінювали динаміку зміни активності різних шляхів синтезу оксиду азоту на початку змагального періоду (на піку фізичної форми спортсменів, досягнутої в процесі тренувальних занять), в середині змагального періоду (через 8 місяців після початку тренувань і через 3 місяця після початку змагань) і наприкінці змагального періоду (через 11 місяців після початку тренувань і через 8 місяців після початку змагань).

Одночасно з біохімічними показниками у спортсменів також визначали величину загальної фізичної працездатності (вPWC₁₇₀, кгм/хв/кг) і величину аеробної продуктивності (вМСК, мл/хв/к) їхнього організму за допомогою субмаксимального велоергометричного тесту PWC₁₇₀.

Всі отримані в ході експерименту дані були оброблені стандартними методами математичної статистики з використанням статистичного пакета Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Попередніми нашими дослідженнями було встановлено об'єктивне існування певної динаміки в системі синтезу оксиду під час тривалого тренувального періоду, що не залежали від статі [1, 5-8]. Показано, що на етапі інтенсивних фізичних навантажень, не обтяжених психоемоційним стресом (період підготовки до змагального сезону), основна роль у забезпеченні організму оксидом азоту в адаптованих спортсменів (як юнаків, так і дівчат) належить в основному конститутивному *de novo* синтезу і, меншою мірою, ресинтезу NO за участю нітратредуктази при одночасній дуже високій активності неокисного аргіназного метаболізму L-аргініну.

Було відзначено, що багатостадійний неокисний аргіназний метаболізм аргініну забезпечує організм спортсменів низькомолекулярними антиоксидантами (сечовина, поліаміни) і біорегуляторами (сечовина, поліаміни, ГАМК), а також попередниками основного білка сполучної тканини – колагену, що мають важливе значення для повноцінної адаптації організму спортсменів до виконання фізичної роботи значного об'єму й тривалості.

З точки зору практичного використання результатів, безсумнівно значимим для нас, було виявлення гендерних особливостей взаємозв'язку між різним рівнем функціональної підготовки високопрофесійних спортсменів (PWC₁₇₀ та МСК) і рівнем біосинтезу оксиду азоту різними шляхами (*de novo* та *salvage*).

Представлені результати обстеження високотренованих спортсменів різної статі на початку змагального періоду, що характеризується найбільш високим рівнем фізичної підготовленості організму, свідчать про те, що в групі юнаків реєструвалися вірогідно більш високі, ніж у дівчат, величини функціональних

ГЕНДЕРНІ ВІДМІННОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ L-АРГІНІНУ В СПОРТСМЕНІВ

параметрів PWC₁₇₀ та МСК (табл. 1 та табл. 2).

Таблиця 1.

Величини вивчених розрахованих показників у високотренованих юнаків і дівчат на початку змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа, нмоль/хв мг білка	2,69±0,32	2,09±0,28	-22,25
cNOS, пмоль /хв мг білка	48,01±4,50	58,49±3,85	21,82
iNOS, пмоль /хв мг білка	8,54±1,47	12,34±0,878	44,53
Нітратредуктаза, нмоль/хв мг білка	4,62±0,25	3,47±0,19**	-25,02
Нітрит-аніон, пмоль/мг білка	296,87±36,22	324,54±20,56	9,32
Нітрат-аніон, нмоль/мг білка	1,36±0,14	1,67±0,15	22,63
Сечовина, нмоль/мг білка	71,98±7,56	75,83±2,19	5,35
Загальна фізична працездатність, кгм/хв/кг	20,24±0,58	27,14±1,49***	34,12
Аеробна продуктивність, мл/хв/кг	59,99±1,27	71,14±3,26**	18,59

Примітка: тут і далі *, **, *** - різниця достовірна (P < 0,05, 0,01, 0,001) стосовно значення в групі дівчат, D - величини відносної різниці, %.

В попередніх наших роботах було відзначено, що для всіх обстежених, незалежно від статі, домінуюча роль у забезпеченні оптимального рівня синтезу оксиду азоту на етапі підготовки до сезону (на різних етапах тренувального періоду) належала конститутивному *de novo* (cNOS) при участі *salvage* шляху (нітратредуктаза) його утворення при одночасній високій активності неокисної деградації аргініну (аргіназа). На початку змагального періоду активність нітратредуктази в групі дівчат була вірогідно вищою, ніж у юнаків. Навпаки, серед юнаків рееструвалися більш високі значення активностей як конститутивного (cNOS), так і індукцйбельного (iNOS) шляхів *de novo* синтезу NO, що досягали достовірності різниці для значень сумарної активності NOS у юнаків і дівчат. Достовірно вищою була у юнаків і частка iNOS в сумарній активності NOS.

Для високотренованих дівчат, оптимально адаптованих до тривалої фізичної роботи великої інтенсивності, були характерні статистично достовірні більш високі значення співвідношень активностей обох неокисних ферментативних активностей (аргінази й нітратредуктази), що не потребують кисню для своєї роботи з величинами активності ферментів окисного метаболізму (cNOS та iNOS), що потребують кисень для синтезу оксиду азоту. Вірогідні ж відмінності в рівні фізичної працездатності та аеробної продуктивності виглядали як природні статеві відмінності.

Таблиця 2.
Величини розрахованих показників у високотренованих юнаків і дівчат на початку змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа / cNOS, у.о.	61,09±8,67	37,68±6,13*	-38,32
Аргіназа / iNOS, у.о.	381,76±55,58	172,23±23,94***	-54,89
Нітратредуктаза/cNOS, у.о.	107,04±11,90	62,00±5,19***	-42,08
Нітратредуктаза/iNOS, у.о.	739,59±114,13	289,38±19,92***	-60,87
Індекс оксигенації, у.о.	5,86±1,91	4,24±0,31	-27,66
Частка iNOS, %	14,83±1,78	17,75±1,30*	19,67
Частка NO ₂ , %	67,02±2,64	65,92±2,37	-1,63

В середині змагального періоду (табл. 3 та табл. 4), що характеризується потужним зовнішнім впливом на організм у вигляді поєднаних тренувальних і змагальних навантажень, обтяжених психологічним стресом, ми спостерігали одночасно із зниженням функціональної підготовленості спортсменів (зниження величин загальної фізичної працездатності й максимального споживання кисню у юнаків і дівчат при вірогідно більш високих значеннях даних показників у групі юнаків) певні статеві відмінності й відносно стану системи синтезу оксиду азоту.

Таблиця 3.
Величини вивчених показників у високотренованих юнаків і дівчат в середині змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа, нмоль/хв мг білка	1,38± 0,19	1,31± 0,29	-5,03
cNOS, пмоль /хв мг білка	56,45±3,05	71,67±6,42*	26,98
iNOS, пмоль /хв мг білка	7,90±1,55	10,43±1,36	32,00
Нітратредуктаза, нмоль/хв мг білка	3,47±0,18	2,37±0,28**	-31,86
Нітрит-аніон, пмоль/мг білка	348,94±27,33	378,05±46,89	8,34
Нітрат-аніон, нмоль/мг білка	1,76±0,07	1,02±0,13***	-42,18
Сечовина, нмоль/мг білка	77,60±5,17	57,65±5,66**	-25,71
Загальна фізична працездатність, кгм/хв/кг	16,61±0,99	23,86±0,62***	43,65
Аеробна продуктивність, мл/хв/кг	52,04±2,24	63,77±1,30***	22,53

ГЕНДЕРНІ ВІДМІННОСТІ МЕТАБОЛІЗМУ L-АРГІНІНУ В СПОРТСМЕНІВ

В середині ЗП, незалежно від статі, домінуюча роль в синтезі оксиду азоту належить неокисному шляху ресинтезу NO з його стабільних метаболітів при збереженні важливої ролі окисного конститутивного de novo синтезу. В той же час, в середині ЗП для спортсменів була характерна вірогідно більш висока, ніж для спортсменок з низкими значеннями фізіологічних параметрів адаптації і тренування, активність конститутивної NO-синтази (на 26,98%), і, навпаки, вірогідно менші значення активності нітратредуктази (на 31,78%) і концентрацій нітрат-аніону (на 42,18%) і сечовини (на 25,71%) в плазмі крові.

Таблиця 4.

Величини розрахованих показників у високотренованих юнаків і дівчат в середині змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа / cNOS, у.о.	22,37±3,49	15,25±2,80	-31,80
Аргіназа / iNOS, у.о.	25,20±3,81	17,66±3,42	-29,90
Нітратредуктаза/cNOS, у.о.	55,78±4,06	30,98±4,34***	-44,46
Нітратредуктаза/iNOS, у.о.	62,97±4,31	35,71±5,15***	-43,28
Індекс оксигенації, у.о.	4,85±0,71	6,99±0,96	44,01
Частка iNOS, %	11,52±1,60	12,66±1,15	9,95
Частка NO ₂ , %	65,51±1,96	77,21±2,65**	17,86

Враховуючи, що нітрат є маркером утворення пероксинітриду при взаємодії супероксиду та оксиду азоту і високі рівні синтезу останнього, можна припустити, що у спортсменів функціонує більш потужна антиоксидантна система, ніж у спортсменок, або генерується менше супероксиду. В той же час, у спортсменок реєструвалися вірогідно більш високі ніж у спортсменів значення співвідношень активностей ферментів неокисного і окисного шляхів синтезу оксиду азоту – нітратредуктаза/cNOS (на 44,46%) та нітратредуктаза/iNOS (на 43,28%).

В середині змагального періоду на фоні поєднаної дії високих фізичних та психологічних навантажень та зменшення ролі багатостадійного неокисного метаболізму аргініну, що забезпечував високий рівень адаптації до фізичної роботи як дівчат, так і юнаків шляхом синтезу низки важливих біологічних речовин, для спортсменок також була характерна більш висока інтенсивність неокисного ресинтезу NO з його стабільних метаболітів, тоді як для спортсменів – окисної деградації L-аргініну за участю cNOS.

Як було відзначено в попередніх публікаціях, наприкінці змагального періоду, що характеризується інтенсивним наростанням ознак природного стомлення й відповідним суттєвим зниженням фізичної працездатності організму і рівня адаптації домінуюча роль в синтезі оксиду азоту належить вже конститутивному окисному синтезу оксиду азоту при збереженні певної ролі його неокисного ресинтезу.

Відповідно до даних табл. 5 та табл. 6, на даному етапі дезадаптації у спортсменів (як юнаків, так і дівчат) мало місце одночасно зі зниженням їхньої фізичної працездатності й аеробної продуктивності ще й помітні зміни в синтезі оксиду азоту. Так для дівчат з низькими рівнями фізіологічних показників реєструвалися більші, ніж серед юнаків, пули нітрат-аніону, а, отже і пули його попередника пероксинітриту (на 62,99%) та активності нітратредуктази (на 37,92%) в плазмі крові.

Навпаки, наприкінці змагального періоду юнаки з вищими фізіологічними показниками мали перевагу в активності як індукційного синтезу оксиду азоту (на 27,57%), так і конститутивного його синтезу (на 21,27%). Для спортсменок в цей період була характерна більш висока інтенсивність неокисного ресинтезу оксиду азоту в порівнянні з його окисним синтезом за участю різних ізоформ NO-синтаз.

Таблиця 5.
Величини вивчених показників у високотренованих юнаків і дівчат наприкінці змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа, нмоль/хв мг білка	1,32±0,08	1,91±0,07***	44,33
cNOS, пмоль /хв мг білка	31,82±1,91	38,59±3,13	21,27
iNOS, пмоль /хв мг білка	15,96±1,50	20,36±1,42*	27,57
Нітратредуктаза, нмоль/хв мг білка	3,90±0,36	2,42±0,27**	-37,92
Нітрит-аніон, пмоль/мг білка	340,74±20,56	309,34±13,70	-9,22
Нітрат-аніон, нмоль/мг білка	3,61±0,68	1,34±0,06**	-62,99
Сечовина, нмоль/мг білка	70,37±2,99	65,72±2,94	-6,61
Загальна фізична працездатність, кгм/хв/кг	12,47±0,59	20,81±1,07***	66,92
Аеробна продуктивність, мл/хв/кг	43,31±1,50	48,64±2,12*	12,29

Таким чином, результати проведеного дослідження дозволили констатувати наявність певних статевих відмінностей в системі синтезу оксиду азоту в залежності від стадії адаптації організму тренуваних осіб до фізичних та психологічних навантажень.

Було встановлено, що в процесі зростання дії цих екстремальних зовнішніх впливів в тренуваних дівчат відмічається більш висока інтенсивність відновлювального ресинтезу оксиду азоту з його стабільних метаболітів, тоді як серед тренуваних юнаків – більш високий рівень активності окисного *de novo* синтезу NO різними ізоформами NO-синтаз (як конститутивною, так і індукційною).

На різних етапах (початок, середина, кінець змагального періоду), необхідний рівень синтезу оксиду азоту забезпечується також за рахунок поступового

підвищення активності індукцйбельного синтезу NO, що було показано нами як для юнаків так і для дівчат. Власне, за рахунок значного підвищення останнього (що, можливо, є першопричиною всіх змін) можна пояснити як поступове зниження активності конститутивного синтезу (це давно відомий [9] феномен реципрокної взаєморегуляції активності iNOS та cNOS), так і активності редуктазного синтезу NO (регулятором якого є в першу чергу доступність кисню [10], а не субстрату, нітрату, циркулюючі пули якого, навпаки, зростають в динаміці змагального періоду, як і пули нітриту, внаслідок, в т.ч., обмеження швидкості їхньої реутилізації для синтезу NO).

Зростання одночасно і пулів нітрату (за рахунок зменшення реутилізації анітратредуктазою) і пулів нітриту вказує також і на можливе зниження нітритредуктазної активності в плазмі крові, яку ми безпосередньо не вимірювали. Несподівано, підвищенням активності iNOS можна пояснити також і зниження активності аргіназного метаболізму аргініну, а саме для обмеження утворення сечовини, яка, за рахунок утворення уреїдосукцинату [11] може інгібувати такий необхідний для роботи iNOS ресинтез аргініну з цитруліну в цитруліновому циклі [12].

Вірогідною причиною зростання активності iNOS (майже виключно за рахунок індукції цього ферменту) в процесі змагального періоду у спортсменів і у спортсменок, може бути одночасне підвищення як пулів індукторів (прозапальних цитокінів TNF α , INF-gamma, IL-1 β та ін.), так і генерації активатора індукції – супероксиданіону [13]. Активація цього ферменту може мати негативні наслідки для роботи серця спортсменів, підвищуючи апоптоз кардіоміоцитів [14, 15].

Таблиця 6.

Величини розрахованих показників у високотренованих юнаків і дівчат наприкінці змагального періоду ($\bar{X} \pm m$)

Показники	Дівчата	Юнаки	D, %
Аргіназа / cNOS, у.о.	28,41 \pm 2,03	33,24 \pm 1,82	17,01
Аргіназа / iNOS, у.о.	43,87 \pm 4,51	51,58 \pm 3,21	17,59
Нітратредуктаза/cNOS, у.о.	83,64 \pm 8,09	42,17 \pm 4,86***	-49,58
Нітратредуктаза/iNOS, у.о.	127,28 \pm 12,90	65,68 \pm 8,11***	-48,40
Індекс оксигенації, у.о.	4,72 \pm 0,39	4,77 \pm 0,40	1,13
Частка iNOS, %	33,33 \pm 3,06	34,82 \pm 2,08	4,48
Частка NO ₂ , %	53,20 \pm 4,82	69,69 \pm 1,14**	30,99

На нашу думку матеріали проведеного дослідження є істотним доповненням до наявних відомостей щодо гендерних відмінностей метаболізму L-аргініну та ролі оксиду азоту в забезпеченні адаптації до систематичної м'язової діяльності.

Перспективами подальших досліджень є проведення більш детального вивчення ступеня функціональної залежності між рівнем фізичної працездатності, з одного

боку, і станом систем кровообігу і синтезу оксиду азоту, з іншого, в процесі фізичних тренувань.

ВИСНОВКИ

1. Серед спортсменів різної статі з максимальними величинами фізичної працездатності та аеробної продуктивності (на початку змагального періоду) домінуюча роль у забезпеченні оптимального рівня синтезу оксиду азоту належить окисному конститутивному *de novo* синтезу та неокисному реутилізаційному синтезу при одночасній високій активності неокисної деградації аргініну аргіназою.
2. У дівчат з максимальними величинами фізичної працездатності та аеробної продуктивності (на початку змагального періоду), але з меншими значеннями функціональних параметрів ніж у юнаків, вищою, ніж у юнаків була активність нітратредуктази і значення співвідношень активностей обох неокисних ферментативних активностей (аргінази й нітратредуктази), що не потребують кисню для своєї роботи, з величинами активності ферментів окисного метаболізму (сNOS та іNOS), що потребують кисень для синтезу оксиду азоту.
3. У спортсменів з максимальними величинами фізичної працездатності та аеробної продуктивності (на початку змагального періоду) реєструвалися більш високі значення активностей як конститутивного, так і індукційного окисного *de novo* синтезу NO. Достовірно вищою була у юнаків і частка іNOS в сумарній активності NOS.
4. В середині змагального періоду, що характеризується потужним зовнішнім впливом на організм у вигляді поєднаних тренувальних і змагальних навантажень, обтяжених психологічним стресом, одночасно зі зниженням загальної фізичної працездатності й максимального споживання кисню (у юнаків в меншій мірі ніж у дівчат), незалежно від статі домінуюча роль в синтезі оксиду азоту належить неокисному шляху ресинтезу NO з його стабільних метаболітів при збереженні важливої ролі окисного конститутивного *de novo* синтезу.
5. В середині змагального періоду для спортсменів з більш високими фізіологічними показниками була характерна вища, ніж для спортсменок активність конститутивної NO-синтази, і, навпаки, менші значення активності нітратредуктази і концентрацій нітрат-аніону і сечовини в плазмі крові. У спортсменок реєструвалися вірогідно більш високі значення співвідношень активностей ферментів неокисного і окисного шляхів синтезу оксиду азоту – нітратредуктаза/сNOS та нітратредуктаза/іNOS.
6. При мінімальних значеннях фізіологічних показників (наприкінці змагального періоду) у спортсменів, незалежно від статі, домінуюча роль в синтезі оксиду азоту належить окисному конститутивному *de novo* синтезу при збереженні певної ролі його неокисного ресинтезу.
7. У спортсменок з низькими значеннями фізіологічних показників була характерна більш висока інтенсивність неокисного ресинтезу оксиду азоту в порівнянні з його окисним *de novo* синтезом за участю різних ізоформ NO-

синтаз (реєструвалися більші ніж у спортсменів пули нітрат-аніону та вища активність нітратредуктази в плазмі крові).

8. Наприкінці змагального періоду спортсмени з більш високими значеннями фізіологічних показників ніж у спортсменок мали перевагу в активності окисного de novo синтезу оксиду азоту (як індукцибельного, так і конститутивного).

Список літератури

1. Базілюк О.В. Вікові особливості змін системи оксиду азоту в аорті та плазмі за умов адаптації до фізичних навантажень / О.В. Базілюк, А.В. Коцюруба., Л.Г. Степаненко // Фізіол. журн. – 2010. – Т. 56, № 1. – С. 3-12.
2. Ziche M. Nitric oxide synthase lies downstream from vascular endothelial growth factor-induced but not basic fibroblast growth factor-induced angiogenesis / M. Ziche, L. Morbidelli, D.R. Choudhuri // J. Clin. Invest. – 1997. – 99, № 11. - P. 2625-2634.
3. Diwan A.D. Nitric oxide modulates fracture healing / A.D. Diwan, M.X. Wang, D. Jang // J. Bone Miner Res. – 2000. – 15, № 2. – P. 342-351.
4. Defron D.T. Role of nitric oxide in wound healing / D.T. Defron, D. Most, A. Barbul // Curr Opin Clin Nutr Metab Care. – 2000. – 3, № 3. – P. 197-204.
5. Богдановская Н.В. Оценка роли сосудистого эндотелия в обеспечении физической подготовленности девушек-волейболисток на этапе интенсивной соревновательной деятельности / Н.В. Богдановская, Н.В. Маликов, А.Н. Святодух // Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки. – 2008. – №1. – С. 40-43.
6. Богдановська Н.В. Особливості функціонального стану судинного ендотелію при систематичних фізичних навантаженнях / Н.В. Богдановська, М.В. Маліков // Фізіол. журн. – 2008. – Т. 54, № 4. – С. 44-46.
7. Богдановська Н.В. Синтез оксиду азоту у період довгострокової адаптації до інтенсивної м'язової роботи у спортсменок / Н.В. Богдановська, Г.М. Святодух, А.В. Коцюруба, М.В. Маліков // Фізіол. журн. – 2009. – Т. 55, № 3. – С. 94-99.
8. Bogdanovskaya N.V. Role of the system of synthesis of nitrogen oxide in providing of long duration adaptation of organism to muscular work / N.V. Bogdanovskaya, N.V. Malikov // J. Physiol. Sci. – Киото, 2009. – P. 442.
9. Akita Y. Exercise-induced activation of cardiac sympathetic nerve triggers cardioprotection via redox-sensitive activation of eNOS and upregulation of iNOS / Y. Akita, H. Otani, S. Matsuhisa // Am. J. Physiol. – 2007. – 292, №5. - H2051-H2059.
10. 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.
11. Bianchi P.G. Use of 5(4)amino 4(5)imidazolcarboxamide ureidosuccinate in inflammatory and degenerative liver / P.G. Bianchi, E. Saccabusi // Minerva Gastroenterol. – 1972. – 18, № 4. – P. 245-256.
12. Swamy M. Decreased glutamine synthase, increased citrulline-nitric oxide cycle activities and oxidative stress in different regions of brain in epilepsy rat model / M.Swamy, W.R. Yusot, K.N. Sirajudeen // J Physiol Biochem. – 2011. – 67, № 1. – P.105-113.
13. Sureda A. Relation between oxidative stress and antioxidant endogenous defences during exhaustive exercise / A. Sureda, P. Tauler, A. Aguilo // Free Radic Res. – 2005. – 39, № 12. – P. 1317-1324.
14. Wildhirt S.M. Inducible nitric oxidr synthase activation after ischemia/reperfusion contributes to myocardial dysfunction and extent of infarct size in rabbits: evidence for a late phase of nitric oxide-mediated reperfusion injury / S.M. Wildhirt, S. Weismueller, C. Schulze // Cardiocasc. Res. – 1999. – 43, № 3. – P. 698-711.
15. Kanno S. Attenuation of myocardial ischemia/reperfusion injury by superinduction of inducible nitric oxide synthase / S. Kanno, P.C. Lee, Y. Zhang // Circulation. – 2000. – 101, № 23. – P. 2742-2748.

Богдановская Н.В. Гендерные отличия в метаболизме L-аргинина у спортсменов / Н.В. Богдановская // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2012. – Т. 25 (64), № 3. – С.16-26.

Проведено исследование 26 спортсменов высокой квалификации разного пола, адаптированных к длительному выполнению физической работы высокой интенсивности. Показано наличие гендерных отличий в окислительном и неокислительном метаболизме L- аргинина, в т.ч. в системе синтеза оксида азота (окислительном de novo и неокислительном реутилизационном путях синтеза NO), на разных этапах соревновательной деятельности. На этапе максимальных функциональных возможностей и адаптации (начало соревновательного периода) у девушек превалировал неокислительный метаболизм аргинина при участии аргиназы над окислительной деградацией L-аргинина при участии NO-синтаз. Во время снижения функциональных возможностей (дезадаптация в середине и конце периода соревнований) необходимый уровень синтеза оксида азота обеспечивается у девушек преимущественно за счет ресинтеза оксида азота из его стабильных метаболитов, тогда как у юношей – за счет увеличения окислительного de novo синтеза оксида азота (как конститутивного, так и индуцибельного).

Ключевые слова: L-аргинин, NO-синтазы, пути синтеза, физические нагрузки, високотренированные спортсмены, юноши, девушки, физическая работоспособность.

Bogdanovskaya N.V. Gender differences of L-arginin metabolism of athletes / N.V. Bogdanovskaya // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No. 3. – P. 16-26.

Is investigated 26 athletes of both sexes. Which are highly qualified, adapted to long-term performance at heavy physical work of high intensity. Shown gender differences in oxidative and non-oxidative metabolism L-arginine, including it in the nitric oxide synthesis system (oxidative de novo and non-oxidative reutilization routes of NO synthesis), at different stages of their competitive activities. At the stage of maximum functional abilities and adaptation (early competitive period) among girls prevailed non-oxidative metabolism of arginine with arginase over the oxidative degradation of L-arginine with NO-synthase. During reduction functional abilities (dysadaptation of secondary and final period of competition) the required level of nitric oxide synthesis provided for girls mainly due to resynthesis of nitric oxide from its stable metabolites, whereas for boys – by increasing oxidative de novo synthesis of nitric oxide (as constitutive and inducible).

Keywords: L-arginine, NO-synthase, routes of synthesis, physical activity, highly qualified athletes, youth, girls, physical performance.

Поступила в редакцию 21.09.2012 г.