



DOI:10.28925/2664-2069.2020.1.6

УДК 612.017.2+612.172

## ВПЛИВ ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ НА ПРОЯВ ФІЗИЧНОЇ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КВАЛІФІКОВАНИХ СПОРТСМЕНІВ (І повідомлення)

Лисенко Олена<sup>1,2(A,B,C,D,E,F)</sup>, Федорчук Світлана<sup>2(B,C,D)</sup>,  
Колосова Олена<sup>2(B,C,D)</sup>, Виноградов Валерій<sup>1(A,B,C,F)</sup>

<sup>1</sup> Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний університет фізичного виховання і спорту України, м. Київ, Україна

Внесок автора: А — концепція та дизайн дослідження; В — збір даних;  
С — аналіз та інтерпретація даних; D — написання статті;  
Е — редагування статті; F — остаточне затвердження статті.

### Анотація

*Актуальність.* Для оцінки особливостей адаптації організму кваліфікованих спортсменів до напружених фізичних навантажень найбільш важливо визначити, як прояв фізичної працездатності спортсменів залежить від вегетативної регуляції фізіологічних функцій організму.

*Мета.* Вивчення залежності від вегетативної регуляції серцевого ритму прояву фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів і реакції кардіореспіраторної системи за умов фізичних навантажень різного характеру.

*Матеріал і методи.* Визначення фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів і реакція кардіореспіраторної системи на тестові навантаження (ергоспірометричний комплекс Охусон Pro, тредміл LE-200 С), методи аналізу варіабельності серцевого ритму, математико-статистичні методи

*Результати.* Переважання в регуляції серцевого ритму активності парасимпатичного відділу вегетативної НС сприяє досягненню спортсменами більшого рівня фізичної працездатності як за умов виконання фізичної роботи при переважанні аеробних процесів в енергозабезпеченні, так і за умов максимальної реалізації аеробних можливостей організму (при досягненні максимального рівня  $\dot{V}O_2$ ).

Підвищена активність парасимпатичного відділу вегетативної НС поєднується зі знизеним рівнем  $V_E$ , що свідчить про економічність реакції КРС за умов фізичної роботи переважно аеробного характеру (роботи малої і середньої потужності). При збільшенні напруженості фізичної роботи (починаючи вже від порогу аеробного обміну) підвищений рівень активності парасимпатичного відділу вегетативної НС буде сприяти підвищенню рівня легеневої вентиляції, що характеризує найбільш ефективну реакцію КРС.

*Висновки.* Вищий рівень активності парасимпатичного відділу вегетативної НС в регуляції СР сприяв формуванню більш економного паттерну дихальної



реакції за рахунок більшого  $V_T$  і меншої  $f_T$ , що за умов напруженої фізичної роботи дозволяла досягати більшого рівня  $V_E$  і реалізації аеробного потенціалу спортсмена. З підвищенням активності симпатичного каналу регуляції серцевого ритму відмічалось зниження економічності дихальної реакції. Так, необхідний робочий рівень  $V_E$  формувався за рахунок меншої величини  $V_T$  при високому рівні  $f_T$ .

**Ключові слова:** кваліфіковані спортсмени, варіабельність серцевого ритму, фізичні навантаження, кардіореспіраторна система.

## INFLUENCE OF VEGETATIVE REGULATION OF HEART RHYTHM ON THE MANIFESTATION OF PHYSICAL PERFORMANCE OF QUALIFIED ATHLETES (I message)

Lysenko Olena<sup>1,2</sup>, Fedorchuk Svitlana<sup>2</sup>, Kolosova Olena<sup>2</sup>, Vinogradov Valerii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

### Abstract

*Introduction.* To assess the characteristics of the body's adaptation of skilled athletes to strenuous exercise, it is most important to define how the manifestation of physical performance of athletes depend on the autonomic regulation of physiological functions of the body.

*Aim* is to study the dependence of the autonomic regulation of heart rate on the manifestation of physical performance of qualified athletes and the reaction of the cardiorespiratory system under conditions of physical activity of different nature.

*Materials and methods.* Determination of physical performance of qualified athletes and the reaction of the cardiorespiratory system (CRS) to test physical activity (ergospirometric complex "Oxycon Pro", treadmill LE-200 C), mathematical analysis of heart rhythm variability, mathematical and statistical methods.

*Results.* The predominance in the regulation of heart rate activity of the parasympathetic division of the autonomic nervous system helps athletes achieve a higher level of physical performance both in terms of physical activity with a predominance of aerobic processes in energy supply and in terms of maximum realization of aerobic capacity. Increased activity of the parasympathetic division of the autonomic nervous system is combined with a reduced level of  $V_E$ , which indicates the efficiency of the reaction of athlete under physical conditions, mainly aerobic (low and medium power). With increasing intensity of physical activity (starting from the threshold of aerobic metabolism), the increased level of activity of the parasympathetic division of the autonomic nervous system will increase the level of pulmonary ventilation, which characterizes the most effective response of CRS

*Conclusions.* The higher level of activity of the parasympathetic division of the autonomic emergency in the regulation of heart rate contributed to the formation of a more economical pattern of respiratory response due to higher  $V_T$  and lower  $f_T$ , which under intense physical work allowed to achieve higher levels of  $V_E$  and aerobic potential of the athlete. With increasing activity of the sympathetic channel of heart



rate regulation, there was a decrease in the efficiency of the respiratory response. Thus, the required operating level  $V_E$  was formed due to the smaller value of  $V_T$  at a high level  $f_T$ .

**Key words:** skilled athletes, heart rate variability, physical loads, cardiorespiratory system

**Вступ.** Адаптивне урівноваження організму із середовищем і при фізичних навантаженнях відбувається за рахунок зростання напруження процесів регуляції. У даному випадку мова йде про гомеостатичну регуляцію і про урівноваження параметрів дихального гомеостазису [2; 7; 8; 14; 17; 19; 19; 21]. Звідси випливає важливий висновок, що ефективність керуючих механізмів системи дихання при адаптивному урівноваженні до певного фактору, в тому числі і до м'язової діяльності, можна оцінити за ступенем напруження регуляторних механізмів [1; 5; 16]. Більше того, ступінь їх напруження може бути характеристикою «вартості» адаптації, тоді як новий рівень функціонування системи — це вже її результат.

Так, останні роки для інтегративної оцінки регуляторно-адаптивних можливостей організму широко використовується метод серцево-дихального синхронізму (СДС). В основі методу лежить послідовний ланцюг процесів: від сприйняття подразника, що задає ритм дихання, до відтворення серцем ритму, який буде синхронний дихальному ритму. Показано, що СДС виникає в результаті відтворення серцем ритму сигналів, що надходять до нього по блукаючих нервах. СДС характеризується діапазоном синхронізації [2, 9].

Параметри СДС залежать від типу нервової системи, тонусу вегетативної нервової системи, функціонального стану організму [2, 9]. Наприклад, найбільша ширина діапазону синхронізації дихального і серцевого ритмів відзначається у флегматиків, найменша — у холериків.

Синхронізація розвивається повільніше всього в холериків, а швидше за все — у сангвініків. Залежність параметрів поєданого ритмогенезу серця і дихання від типів темпераменту визначається властивостями нервової системи цих типів — силою, врівноваженістю, рухливістю [10; 12].

Для такого аналізу, особливо в спорті, важливо те, що вираженість реакцій організму у відповідь на фізичне навантаження залежить як від рівня тренуваності, так і, перш за все, від індивідуальних особливостей кваліфікованих спортсменів [5; 5; 7]. Ймовірною основою індивідуальних відмінностей в реакціях адаптації є спадкові особливості реактивності на гуморальні стимули і особливості метаболізму, що знаходяться під генетичним контролем і взаємопов'язані з розвитком і специфікою нервово-м'язового апарату, з особливостями вегетативного балансу в регуляції, з індивідуально-типологічними характеристиками вищої нервової діяльності [5; 13; 15].

Одним з добре відомих критеріїв досконалої регуляції у більш



тренованих спортсменів є більш економічна діяльність функціональних систем їх організму [5; 8; 14; 19]. Остання обумовлюється «найтоншою узгодженістю в діяльності рухового апарату і внутрішніх органів» [8]. Конкретні механізми зазначених та інших особливостей стану тренуваності недостатньо зрозумілі і мають деякі суперечності. Так, зазначається, що в стані вищої тренуваності спортсмена (під «спортивною формою») може бути відсутня економізація функцій, що пояснюється підвищеною «реактивністю організму» в такому стані [5; 8]. Про це побічно свідчить наявність у деяких добре тренуваних молодих спортсменів гіперкінетичного характеру реакцій центральної циркуляції і зовнішнього дихання на навантаження. При цьому реакція характеризується відносно збільшеним рівнем центрального кровотоку і легеневої вентиляції з газообміном як при субмаксимальній потужності навантаження, так і при  $\dot{V}O_2\max$  [8; 19; 20].

Вивчення механізмів регуляції діяльності серцево-судинної системи (ССС), від якої багато в чому залежить ефективність спортивної діяльності, залишається актуальною в оцінці шляхів адаптації організму спортсмена до різних фізичних навантажень. Незважаючи на збереження гомеостазису, адаптивне урівноваження організму з середовищем відбувається за рахунок зростання напруження механізмів регуляції. Як уже зазначалось, активність регуляторних систем, що необхідна для підтримання відповідного рівня функціонування організму або для його переходу на

інший рівень, більш адекватний умовам середовища, визначається по ступеню напруження регуляторних механізмів адаптації [8].

У зв'язку з вищевикладеним для оцінки особливостей адаптації організму кваліфікованих спортсменів до напружених фізичних навантажень в процесі їх спортивної підготовки, для характеристики особливостей формування функціональної підготовленості (ФП) спортсменів [5] найбільш важливо визначити, як прояв фізичної працездатності спортсменів і особливості реакції кардіореспіраторної системи (КРС) залежать від вегетативної регуляції фізіологічних функцій організму, співвідношення тону симпатичного і парасимпатичного відділів вегетативної нервової системи (НС) в регуляторних механізмах адаптації [5; 7; 13; 15; 17; 19].

Так, використовуючи аналіз варіабельності серцевого ритму, ми зможемо визначити ті типи вегетативної регуляції фізіологічних функцій організму кваліфікованих спортсменів за різних умов спортивної діяльності, які будуть найбільш сприятливі для досягнення різного рівня фізичної працездатності; визначити критерії оцінки адаптації організму кваліфікованих спортсменів до тренувального процесу в динаміці спостереження. Це дозволить прогнозувати функціональний стан спортсменів та завчасно розпізнавати виникнення його порушення та перенапруження.

**Метою першого етапу дослідження** (I повідомлення) було вивчення залежності від вегетативної



регуляції серцевого ритму особливостей прояву фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів і реакції кардіореспіраторної системи за умов фізичних навантажень різного характеру.

**Матеріал і методи дослідження.** Дослідження проводили на експериментальній базі Національного університету фізичного виховання і спорту України за участю 319 кваліфікованих спортсменів, які спеціалізувалися у веслуванні на байдарках і каное, баскетболі, легкій атлетиці, хокеї, триатлоні. Вивчалися прояви фізичної працездатності кваліфікованих спортсменів і реакція кардіореспіраторної системи (КРС) на максимальні фізичні навантаження, які використовувалися для визначення загальної фізичної працездатності і функціональних можливостей організму спортсменів [12].

Використовували блок спеціалізованих функціональних тестів: 1) «розминка» — аеробна робота малої потужності, тривалість 3 хв; 2) «стандартна робота» — аеробна робота середньої потужності тривалістю 12 хв із постійною потужністю роботи з розрахунку 1,5 Вт на кілограм маси тіла спортсмена; 3) стандартний тест із ступінчато зростаючою потужністю роботи без інтервалів відпочинку між ступенями [12]. Тести виконувалися на тредмілі LE-200 C (Німеччина).

Реакцію кардіореспіраторної системи (КРС) на тестові фізичні навантаження оцінювали за допомогою ергоспірометричного комплексу Oxycon Pro (Jaeger,

VIASYS Healthcare, Німеччина; США), що дозволяло одержувати і використовувати для подальшого аналізу значення наступних фізіологічних показників: легеневу вентиляцію ( $V_E$ , мл·хв<sup>-1</sup>), частоту дихання ( $f_T$ , хв<sup>-1</sup>), дихальний об'єм ( $V_T$ , мл), споживання  $O_2$  ( $\dot{V}O_2$ , мл·хв<sup>-1</sup>), виділення  $CO_2$  ( $\dot{V}CO_2$ , мл·хв<sup>-1</sup>), газообмінне відношення ( $\dot{V}CO_2 \cdot \dot{V}O_2^{-1}$ ), вентиляційні еквіваленти для  $O_2$  ( $E_{QO_2}$ ) і для  $CO_2$  ( $E_{QCO_2}$ ), кисневий пульс (« $O_2$ -пульс», мл·уд<sup>-1</sup>) тощо. Оскільки експеримент проводився у відкритій системі, то показники зовнішнього дихання були приведені до умов ВTPS, а газообміну — до умов STPD [12]. Вимір частоти серцевих скорочень (ЧСС, уд·хв<sup>-1</sup>) проводили за допомогою Sport Tester Polar-810i (Фінляндія).

Для аналізу вегетативної регуляції серцевої діяльності використовували математичні методи аналізу варіабельності серцевого ритму [6; 12]. Запис сигналу (CardioTest, ДХ-системи, Україна) здійснювався протягом п'яти хвилин в положенні лежачи після 5-хвилинного відпочинку і протягом 5 хвилин відновлювального періоду після виконання комплексу тестових фізичних навантажень. Подальша обробка кардіоінтервалів дозволила провести аналіз гістограм та визначити ряд статистичних характеристик варіабельності серцевого ритму (СР): математичне очікування (M, с), моду ( $M_0$ , с), варіаційний розмах ( $\Delta RR$ , с), амплітуду моди ( $AM_0$ , %), індекс напруження (IH, ум.од.) [1; 3; 6; 12].

Аналіз та оцінка періодичних компонентів СР здійснювалася



шляхом дослідження спектральних показників у трьох діапазонах [1; 3; 6]: HFav — дисперсія дихальних хвиль (спектральна потужність) з частотою 0,15–0,4 Гц, LFav — дисперсія повільних хвиль 1-го порядку (частота 0,04–0,15 Гц), VLFav — дисперсія повільних хвиль 2-го порядку (частота 0,003–0,04 Гц), а також TP — загальна дисперсія CP (частота 0,003–0,4 Гц). Розраховувалася відносна частка дисперсії дихальних хвиль у відсотках від загальної дисперсії (HF %), відносна частка дисперсії повільних хвиль 1-го порядку (LF %) і 2-го порядку (VLF %), а також потужність у діапазоні високих (HF<sub>n</sub>, nu) і низьких частот (LF<sub>n</sub>, nu), що виражені в нормалізованих одиницях, індекс централізації (IC) [1], відношення середніх значень низькочастотного і високочастотного компонента CP (LFav/HFav) [1; 3; 6].

Тестування проводилося після дня відпочинку при стандартному режимі харчування і питного режиму. Відповідно до етичних норм спортсмени були проінформовані про зміст тестів і дали згоду на їх проведення.

Статистичне опрацювання і аналіз результатів включали розрахунок: середнє арифметичне значення (M), середньоквадратичне відхилення (SD), стандартну помилку (SE), коефіцієнт варіації (CV, %) тощо. Крім загального статистичного аналізу, проводили розрахунок коефіцієнта кореляції (r).

**Результати дослідження та їх обговорення.** Дослідження особливостей вегетативної регуляції як важливого детермінуючого чинника в механізмах оптимізації

функціональних реакцій за умов напружених м'язових навантажень проводилося при різному співвідношенні аеробних та анаеробних процесів в енергозабезпеченні. Вивчалися прояви працездатності спортсменів і реакція КРС на стандартні та граничні (максимальні) фізичні навантаження, які використовували для визначення загальної фізичної працездатності і функціональних можливостей організму спортсменів. У даній статті представлені результати аналізу значень коефіцієнтів кореляції як індикатор зв'язків/впливу характеристик варіабельності CP з потужністю роботи (W) та показниками реакції КРС за умов фізичних навантажень різного характеру.

Виявлено, що для величини потужності фізичної роботи (W) як на рівні аеробного та анаеробного порогів, а також на рівні потужності роботи досягнення максимально рівня VO<sub>2</sub> (рис. 1) відмічається вірогідний позитивний кореляційний зв'язок з показниками варіаційної пульсометрії, що характеризують підвищену активність парасимпатичного відділу вегетативної НС в стані відносного спокою (M, M<sub>0</sub>, ΔRR), а також негативний зв'язок з показниками, що характеризують активність симпатичного каналу (AM<sub>0</sub>, IH, IBP, ПАПР, ВПР, ЧСС) в регуляції CP (p < 0,05). Тобто, існує вірогідність, що переважання в регуляції серцевого ритму активності парасимпатичного відділу вегетативної НС сприяє досягненню спортсменами більшого рівня фізичної працездатності як за



умов виконання фізичної роботи при переважанні аеробних процесів в енергозабезпеченні (рівень аеробного порогу), так і за умов максимальної

реалізації аеробних можливостей організму (при досягненні максимального  $\dot{V}O_2$ ).

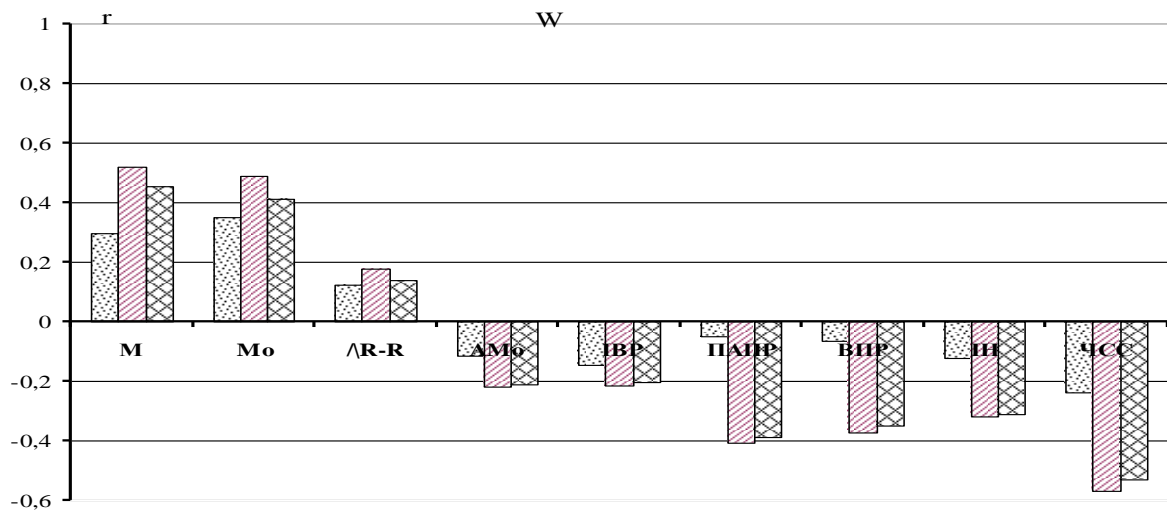


Рис. 1. Вплив ( $r > 0,110$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 319$ ) основних характеристик регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою (по даним варіаційної пульсометрії) на рівень фізичної працездатності ( $W$ ) у кваліфікованих спортсменів за умов виконання фізичної роботи різного характеру енергозабезпечення:

- робота на рівні аеробного порогу;
- робота на рівні анаеробного порогу;
- робота ступінчатозростаючої потужності.

Визначено, що різний вплив вихідного типу вегетативної регуляції (в стані відносного спокою) на рівень  $\dot{V}_E$  залежить від характеру фізичної роботи, а саме: від співвідношення аеробних та анаеробних процесів в її енергозабезпеченні. Так, як видно із даних, представлених в (рис. 2), за умов відносного спокою та при фізичній роботі з переважно аеробним механізмом енергозабезпечення відмічається негативний зв'язок рівня  $\dot{V}_E$  з показниками, що характеризують активність парасимпатичного каналу регуляції СР (M, Mo,  $\Delta R-R$ , c) в стані відносного спокою, та позитивний — з активністю симпатичного каналу регуляції (AMo, ЧСС) та з рівнем

загального напруження в регуляторних механізмах адаптації (ІВР, ПАІР, ВІР, ІІ). Із збільшенням інтенсивності фізичного навантаження (після перевищення рівня анаеробного порогу) та при максимальній реалізації аеробних можливостей (досягнення біля максимальних рівнів  $\dot{V}O_2$ ) відмічається зміна направленості зв'язку: позитивний зв'язок відмічається між досягнутим рівнем  $\dot{V}_E$  та показниками активності парасимпатичного відділу вегетативної НС в регуляції СР в стані відносного спокою, а також негативний зв'язок — з показниками активності симпатичного відділу вегетативної НС ( $p < 0,05$ ).

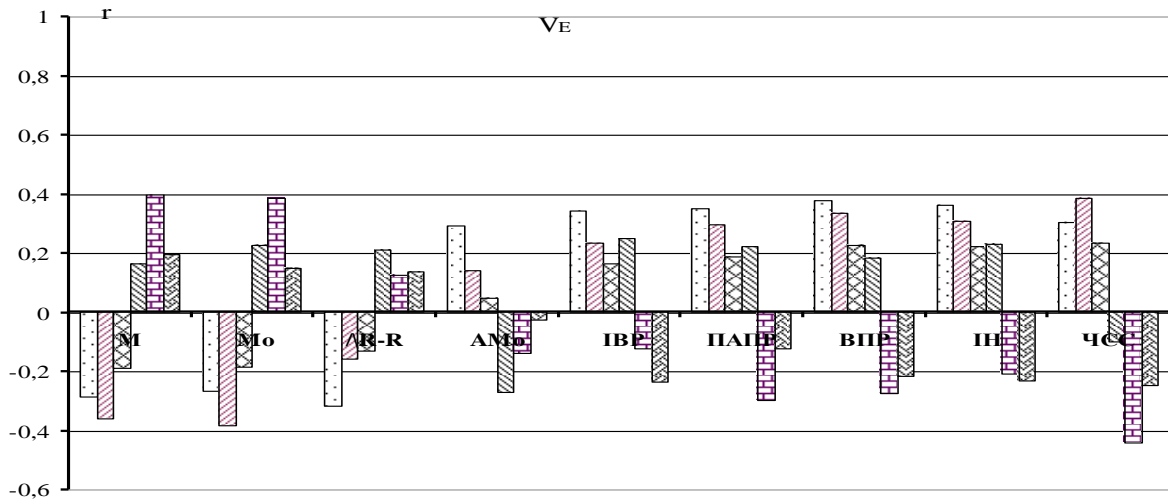


Рис. 2. Вплив ( $r > 0,110$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 319$ ) основних характеристик регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою (по даним варіаційної пульсометрії) на рівень легеневої вентиляції ( $V_E$ , л·хв<sup>-1</sup>) у кваліфікованих спортсменів за умов виконання фізичної роботи різного характеру

енергозабезпечення:

- стан відносного спокою;
- аеробна робота малої потужності;
- аеробна робота середньої потужності;
- робота на рівні аеробного порогу;
- робота на рівні анаеробного порогу;
- робота ступінчатозростаючої потужності.

Таким чином, підвищена активність парасимпатичного відділу вегетативної НС при зниженій активності симпатичного відділу поєднується зі зниженим рівнем  $V_E$ , що свідчить про економічність реакції КРС за умов фізичної роботи переважно аеробного характеру (малої і середньої потужності) [19]. При збільшенні напруженості фізичної роботи (починаючи вже від порогу аеробного обміну) значення набуває дихальна компенсація наростаючого ступеня ацидозу

[5; 7; 8; 17; 19], що виражається в підвищенні рівня  $V_E$ . За даних умов виконання фізичної роботи підвищеного рівня активності парасимпатичного відділу вегетативної НС буде сприяти підвищенню рівня легеневої вентиляції та, як результат, сприяти дихальній компенсації наростаючого ступеню ацидозу, що характеризує найбільш ефективну реакцію КРС за даних умов виконання фізичної роботи.

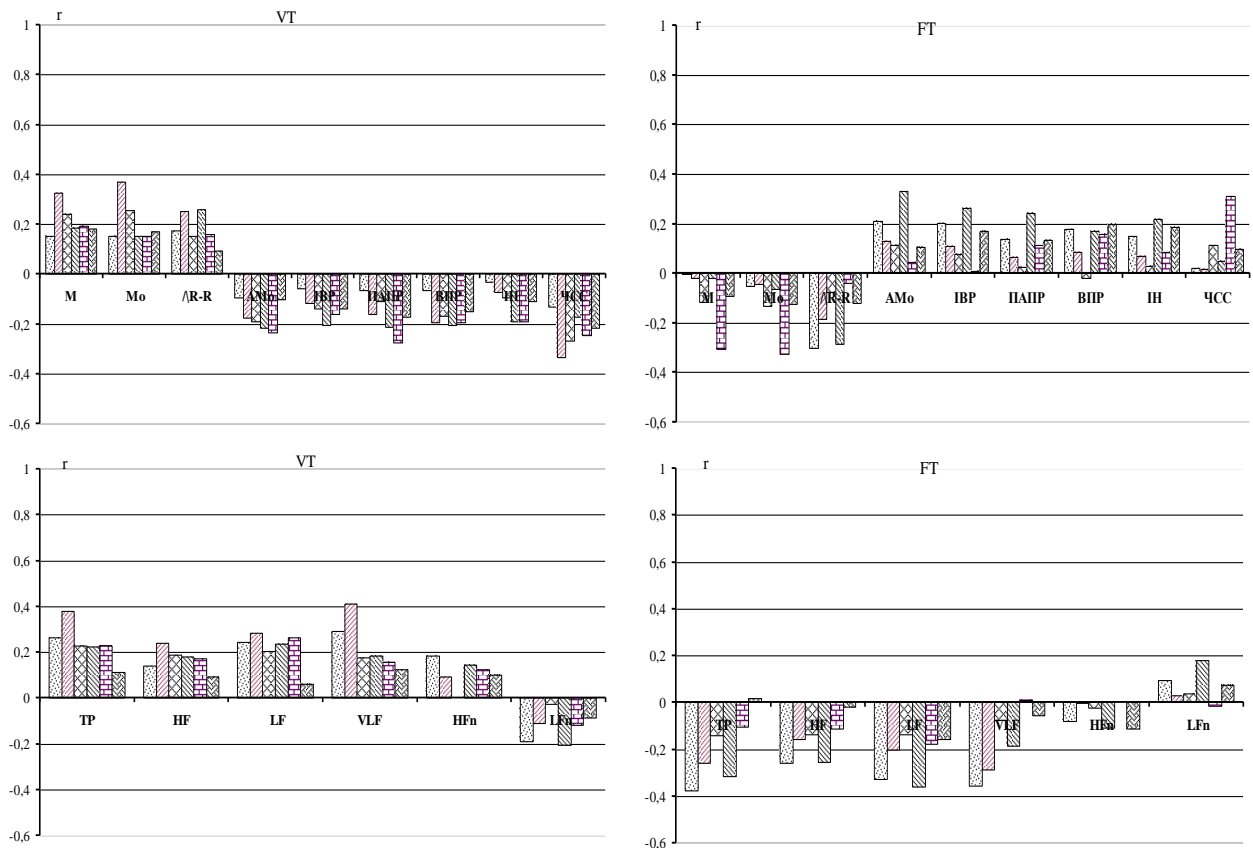








Рис. 3. Вплив основних характеристик регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою на величину дихального об'єму ( $V_T$ ) та на частоту дихання ( $f_T$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ) у кваліфікованих спортсменів за умов виконання фізичної роботи різного характеру енергозабезпечення: А — за даними аналізу варіаційної пульсометрії, Б — спектрального аналізу серцевого ритму ( $r > 0,110$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 319$ ):

-  — стан відносного спокою;
-  — аеробна робота малої потужності;
-  — аеробна робота середньої потужності;
-  — робота на рівні аеробного порогу;
-  — робота на рівні анаеробного порогу;
-  — робота ступінчатозростаючої потужності.

Зовсім інші закономірності виявлено при аналізі впливу вегетативної регуляції в стані відносного спокою на структуру дихальної реакції, а саме: співвідношення  $V_T$  та  $f_T$  у формуванні необхідного рівня  $V_E$  за умов виконання фізичної роботи різного характеру. Перш за все звертає на себе увагу різна направленість зв'язку між

активністю симпатичного та парасимпатичного каналів регуляції СР в стані відносного спокою з величинами  $V_T$  та  $f_T$  за умов тестових навантажень різного характеру. Так, згідно даних аналізу кореляційного зв'язку, представленого на рис. 3, для величини  $V_T$  незалежно від умов виконання тестового навантаження відмічається пряма зумовленість з рівнем активності парасимпатичного каналу регуляції та обернена — для



симпатичного каналу регуляції СР ( $p < 0,05$ ). Із збільшенням інтенсивності тестового навантаження відмічалось зменшення впливу вихідного типу вегетативної регуляції на формування величини  $V_T$  за умов напруженої м'язової діяльності. Зазначені закономірності відмічаються і для величини  $\dot{V}O_2 \cdot f_T^{-1}$ , що характеризує ефективність дихального циклу. Для частоти дихання (рис. 3) відмічаються протилежні закономірності: пряма

зумовленість з рівнем активності симпатичного каналу регуляції та обернена — для парасимпатичного каналу регуляції ( $p < 0,05$ ) та амплітуди коливань в різних спектрах ( $p < 0,05$ ).

На схемі 1, за результатами кореляційного аналізу представлено взаємозв'язок активності парасимпатичного та симпатичного відділів вегетативної нервової системи в регуляції серцевого ритму і їх вплив на формування дихальної реакції за умов фізичної роботи різного характеру.

Вихідний тип вегетативної регуляції СР	Характер фізичної роботи					
	Стан відносного спокою, фізична аеробна робота малої та середньої потужності		Потужність фізичної роботи на рівні анаеробного порогу та досягнення максимального рівня $\dot{V}O_2$			
Висока активність парасимпатичного відділу вегетативної НС <b>Економний тип дихальної реакції</b>	підвищена величина $V_T$	+r	} знижений рівень $V_E$ <b>-r</b>	підвищена величина $V_T$	+r	} підвищений рівень $V_E$ <b>+r</b>
	знижений $f_T$	-r		знижений $f_T$	-r	
Висока активність симпатичного відділу вегетативної НС <b>Не економний тип дихальної реакції</b>	знижена величина $V_T$	-r	} підвищений рівень $V_E$ <b>+r</b>	знижена величина $V_T$	-r	} знижений рівень $V_E$ <b>-r</b>
	підвищений $f_T$	r		підвищений $f_T$	r	

*Схема 1.* Вплив активності парасимпатичного та симпатичного відділу вегетативної нервової системи в регуляції серцевого ритму на формування дихальної реакції за умов фізичної роботи різного характеру (за результатами кореляційного аналізу: «+ r» — пряма залежність; «- r» — обернена залежність):  $V_E$  — рівень легеневої вентиляції,  $V_T$  — дихальний об'єм,  $f_T$  — частота дихання

Таким чином, як видно із схеми 1, більший вплив парасимпатичного відділу вегетативної НС в регуляторних механізмах адаптації сприяє більший

величині  $V_T$  та меншій  $f_T$  за умов фізичних навантажень, формуванню більш ефективної дихальної реакції за умов навантажень різного характеру. Так, переважають парасимпатичних



впливів в регуляторних механізмах адаптації сприяло в аеробних умовах фізичної роботи більш економній реакції дихальної системи, що характеризувалася меншим рівнем  $\dot{V}_E$ , який формувався в основному за рахунок  $V_T$ , на величину якого впливала вища активність парасимпатичного відділу вегетативної НС, і в меншій мірі за рахунок  $f_T$  при меншій активності симпатичного відділу (див. *рис. 3*, див. *схема 1*).

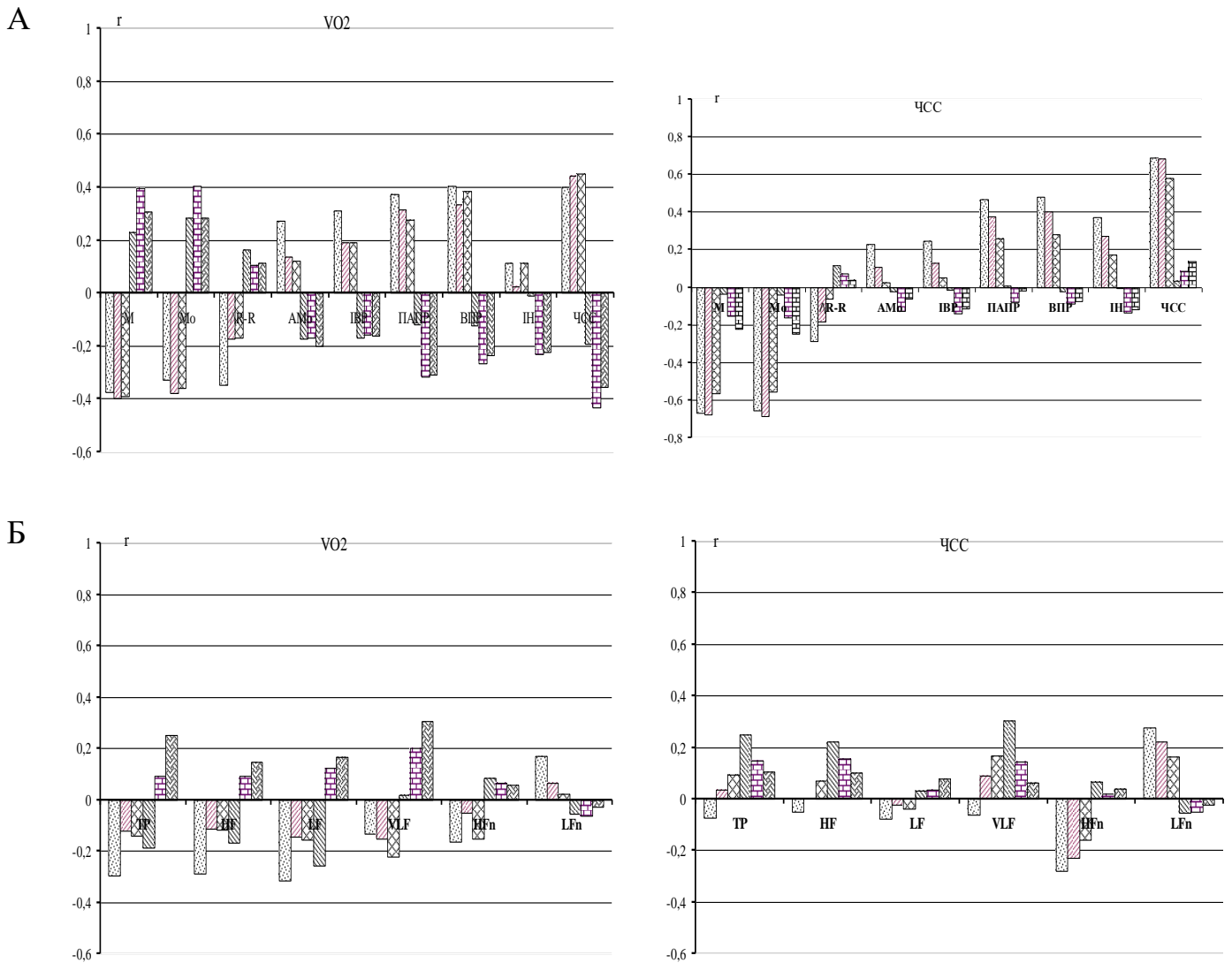
При збільшенні інтенсивності фізичного навантаження і підвищенні в його енергозабезпеченні внеску анаеробних гліколітичних процесів (після перевищення рівня анаеробного порогу) та при максимальній реалізації аеробних можливостей (досягнення біля максимальних рівнів  $\dot{V}O_2$ ) відмічалася зміна направленості зв'язку. Так, позитивний зв'язок відмічався між досягнутим рівнем  $V_E$  та показниками активності парасимпатичного каналу регуляції серцевої діяльності в стані відносного спокою, а також негативний зв'язок — з показниками активності симпатичного відділу вегетативної НС.

Для рівня споживання  $O_2$  ( $\dot{V}O_2$ ) та ЧСС направленість зв'язку з основними характеристиками варіабельності СР також залежить від умов виконання тестових фізичних навантажень, а саме від співвідношення аеробних та анаеробних механізмів в енергозабезпеченні роботи (*рис. 4*).

Так, за умов відносного спокою та фізичної роботи з переважно

аеробним механізмом енергозабезпечення відмічається негативний зв'язок з показниками, що характеризують активність парасимпатичного (M,  $M_0$ ,  $\Delta RR$ ) каналу регуляції СР, та позитивний — активність симпатичного (AMo, ІН, ІВР, ПАПР, ВПР, ЧСС), а також негативний зв'язок з показниками спектрального аналізу, що характеризують потужність коливань в різних спектрах. При виконанні фізичної роботи за умов значного збільшення в енергозабезпеченні анаеробних гліколітичних процесів при максимальній реалізації аеробного механізму відмічається зміна направленості зв'язку.







Підвищена активність парасимпатичного відділу вегетативної НС, що поєднується із дещо зниженою активністю симпатичного каналу в регуляції СР в стані відносного спокою, сприяє більшій ефективності діяльності серцево-судинної системи за умов виконання фізичних навантажень різного характеру (« $O_2$ -пульс», *рис. 5*). Виявлені закономірності не залежать від характеру (напруженості) тестового навантаження. Подібні закономірності виявлені також при оцінці впливу вихідного типу вегетативної регуляції на характеристики ефективності виконання напруженої фізичної роботи, яка оцінювалася по співвідношенню потужності роботи з величиною ЧСС ( $\dot{W} \cdot \text{ЧСС}^{-1}$ ) та рівнем споживання  $O_2$  ( $\dot{W} \cdot \dot{V}O_2^{-1}$ ).

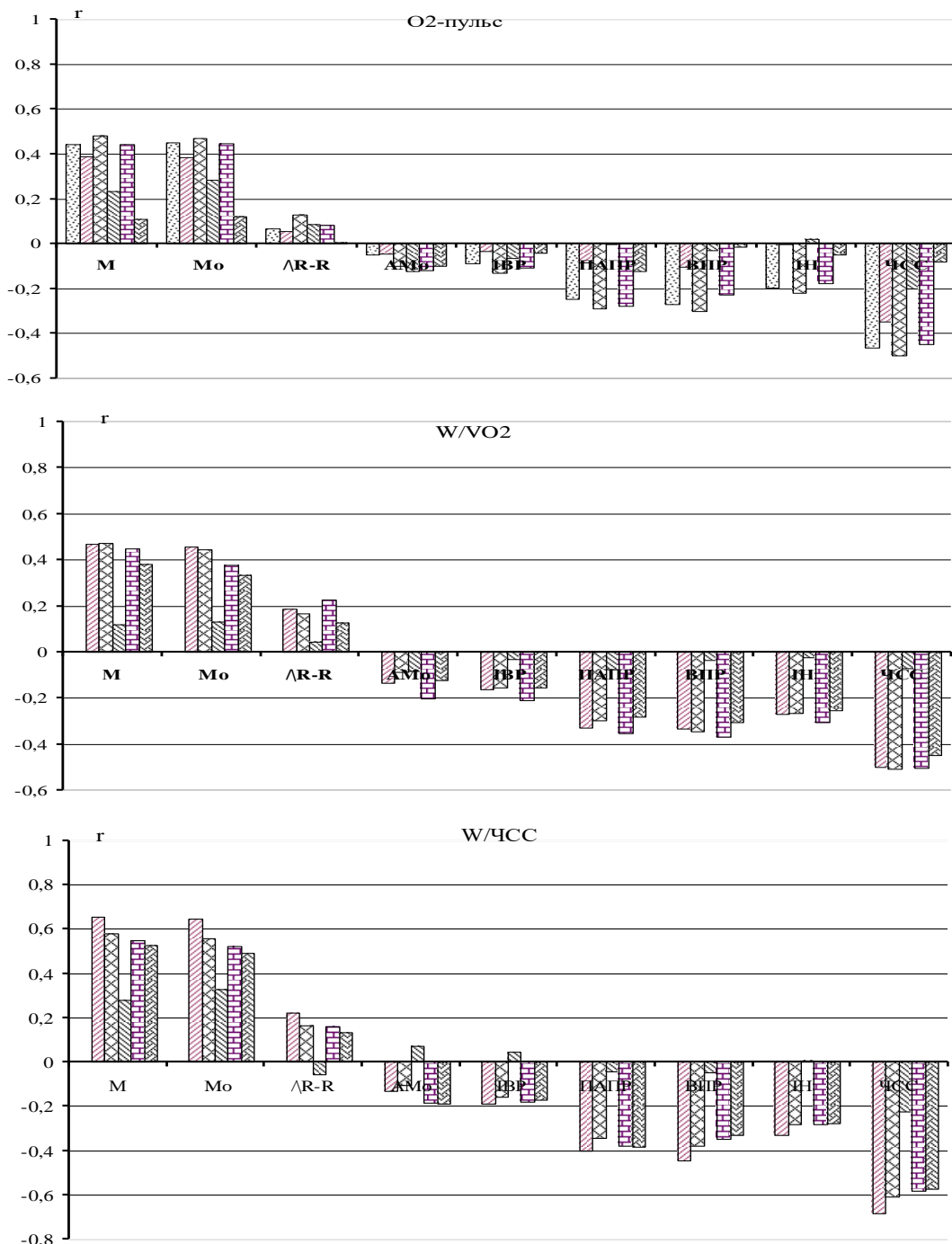


*Рис. 4.* Вплив ( $r > 0,110$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 319$ ) на рівень споживання  $O_2$  ( $VO_2$ , л·хв<sup>-1</sup>) та на частоту серцевих скорочень (ЧСС, хв<sup>-1</sup>) у кваліфікованих спортсменів за умов виконання фізичної роботи різного характеру енергозабезпечення основних характеристик регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою:







А — по даним аналізу варіаційної пульсометрії,

Б — спектрального аналізу серцевого ритму:

-  — стан відносного спокою;
-  — аеробна робота малої потужності;
-  — аеробна робота середньої потужності;
-  — робота на рівні аеробного порогу;
-  — робота на рівні анаеробного порогу;
-  — робота ступінчатозростаючої потужності



*Рис. 5.* Вплив ( $r > 0,110$ ,  $p < 0,05$ ,  $n = 319$ ) на ефективність серцевого циклу («O<sub>2</sub>-пульсу», мл·уд<sup>-1</sup>), а також на співвідношення потужності роботи і рівня споживання O<sub>2</sub> (W·VO<sub>2</sub><sup>-1</sup>, Вт·мл<sup>-1</sup>) та ЧСС (W·ЧСС<sup>-1</sup>, Вт·уд<sup>-1</sup>) у кваліфікованих спортсменів за умов виконання фізичної роботи різного характеру енергозабезпечення основних характеристик регуляції серцевого ритму в стані відносного спокою по даним аналізу варіаційної пульсометрії:

-  — стан відносного спокою;
-  — навантаження малої інтенсивності;
-  — навантаження середньої інтенсивності;
-  — робота на рівні аеробного порогу;
-  — робота на рівні анаеробного порогу;
-  — робота ступінчатозростаючої потужності



Таким чином, вища активність парасимпатичного каналу регуляції СР сприяла формуванню більш економного паттерну дихальної реакції за рахунок більшого  $V_T$  і меншої  $f_T$ , що за умов напруженої фізичної роботи дозволяла досягати більшого рівня  $V_E$  і реалізації аеробного потенціалу спортсмена. З підвищенням активності симпатичного каналу регуляції серцевого ритму відмічалось зниження економності дихальної реакції. Так, необхідний робочий рівень  $V_E$  формувалось за рахунок меншої величини  $V_T$  при високому рівні  $f_T$ .

Крім того, для формування більш економного паттерну дихальної реакції (за рахунок більшої величини  $V_T$  при меншій  $f_T$ ) перш за все має значення більша потужність коливань в різних спектрах, як у високочастотному (HF), так і низькочастотному (LF, VLF). Задовільній адаптації до напружених м'язових навантажень сприяє висока активність парасимпатичного відділу ВНС з одночасним збільшенням активності підкоркових центрів та активності вазомоторного центру. Це розцінюється деякими дослідниками як компенсаторне посилення активності вищих вегетативних центрів і нейрогуморальних механізмів у регуляції СР, що спрямовано на підвищення судинного тонусу [1; 3; 5].

Лише аналіз відсоткового вкладу в загальну потужність амплітуди коливань різного спектру (HF%, LF%, VLF%, IC, LF/HF) та їх вплив на формування величини  $V_T$  та  $f_T$

підтверджував виявлені вище закономірності та дані інших дослідників [3]: більший вплив парасимпатичного відділу ВНС в регуляторних механізмах сприяє формуванню більш економній дихальній реакції та більшій ефективності дихального циклу за умов навантажень.

#### **Висновки:**

1. Переважання в регуляції серцевого ритму активності парасимпатичного відділу вегетативної НС сприяє досягненню спортсменами більшого рівня фізичної працездатності як за умов виконання фізичної роботи при переважанні аеробних процесів в енергозабезпеченні (рівень аеробного порогу), так і за умов максимальної реалізації аеробних можливостей організму (при досягненні максимального рівня  $VO_2$ ).

2. Підвищена активність парасимпатичного відділу вегетативної НС при зниженій активності симпатичного відділу поєднується зі зниженим рівнем  $V_E$ , що свідчить про економність реакції КРС за умов фізичної роботи переважно аеробного характеру (роботи малої і середньої потужності).

3. При збільшенні напруженості фізичної роботи (починаючи вже від порогу аеробного обміну) значення набуває дихальна компенсація наростаючого ступеня ацидозу, що виражається в підвищенні рівня  $V_E$ . За даних умов виконання фізичної роботи підвищений рівень активності парасимпатичного відділу вегетативної НС буде сприяти



підвищенню рівня легеневої вентиляції та, як результат, сприяти дихальній компенсації наростаючого ступеню ацидозу, що характеризує найбільш ефективну реакцію КРС за даних умов виконання фізичної роботи.

4. Більший рівень активності парасимпатичного відділу вегетативної НС в регуляторних механізмах адаптації сприяє більшій величині  $V_T$  та меншій  $f_T$  за умов фізичних навантажень, формуванню більш ефективної дихальної реакції за умов навантажень різного характеру.

5. Вищий рівень активності парасимпатичного відділу вегетативної НС в регуляції СР сприяв формуванню більш економного паттерну дихальної реакції за рахунок більшого  $V_T$  і меншої  $f_T$ , що за умов напруженої

фізичної роботи дозволяла досягати більшого рівня  $\dot{V}_E$  і реалізації аеробного потенціалу спортсмена. З підвищенням активності симпатичного каналу регуляції серцевого ритму відмічалось зниження економності дихальної реакції. Так, необхідний робочий рівень  $\dot{V}_E$  формувався за рахунок меншої величини  $V_T$  при високому рівні  $f_T$ .

**Перспективи подальших досліджень.** Визначити ті типи вегетативної регуляції фізіологічних функцій організму кваліфікованих спортсменів за різних умов спортивної діяльності, які будуть найбільш сприятливі для досягнення різного рівня загальної та спеціальної працездатності.

## Література

1. Баевский РМ, Берснев ЕЮ, Орлов ОИ. Проблема оценки адаптационных возможностей человека в авиакосмической физиологии. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2012; 98(1): 95–107.
2. Горст ВР, Горст НА, Полукова МВ. Рассогласование ритмов сердечно-сосудистой и дыхательной систем при максимальных физических нагрузках. *Астраханский медицинский журнал*. 2011;6(2):242–244.
3. Зайцева ОВ, Гурьева НС. Исходный вегетативный статус определяет реакцию сердечно-сосудистой системы на изменение дыхательного паттерна. *Вятский медицинский вестник*. 2007;1:69–70.
4. Котельников СА, Ноздрачев АД, Одинак ММ, Шустов ЕБ. Вариабельность сердечного ритма:

## References

1. Baevskiy RM, Bersnev EYu, Orlov OI. The problem of assessing human adaptive capabilities in aerospace physiology. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I. M. Sechenova*. 2012; 98(1):95-107. Russian
2. Gorst VR, Gorst NA, Polukova MV. Mismatch of the rhythms of the cardiovascular and respiratory systems at maximum physical exertion. *Astrahanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2011;6(2):242-244. Russian
3. Zaytseva OV, Gureva NS. Initial vegetative status determines the response of the cardiovascular system to changes in the respiratory pattern. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2007;1:69-70. Russian
4. Kotelnikov SA, Nozdrachev AD, Odinak MM, Shustov EB. Heart rate



представление о механизмах. *Физиология человека*. 2003;28(1):130–143.

5. Лисенко ОМ. Фізична працездатність кваліфікованих спортсменів та особливості вегетативної регуляції серцевого ритму. *Міжнародний медико-філософський журнал «Інтегративна антропологія» Одеського національного медичного університету*. 2014;24:48–54.

6. Лисенко ЕН. Ключевые направления реализации функциональных возможностей спортсменов в процессе спортивной подготовки. *Наука в олимпийском спорте*. 2015;2:45–53.

7. Михайлов ВМ. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода. Иваново, 2000. 200 с.

8. Міщенко В, Лисенко О, Виноградов В. Типи фізіологічної реактивності системи дихання і специфіка прояву спеціальної працездатності спортсменів. *Фізіологічний журнал*. 2006;52(4):69–77.

9. Мищенко ВС, Лисенко ЕН, Виноградов ВЕ. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте. Київ: Науковий світ, 2007. 351 с.

10. Покровский ВМ. Формирование ритма сердца в организме человека и животных. Краснодар: Кубань Книга, 2007. 144 с.

11. Полищук ЛВ. Зависимость параметров сердечно-дыхательного синхронизма от длительности латентного периода простой сенсомоторной реакции. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2010;8:159–162.

variability: understanding the mechanisms. *Fiziologiya cheloveka*. 2003;28(1):130-143. Russian

5. Lysenko OM. Physical performance of qualified athletes and features of autonomic regulation of heart rhythm. *Mizhnarodnyi medyko-filosofskyi zhurnal «Intehratyvna antropolohiia» Odeskoho natsionalnoho medychnoho universytetu*. 2014;24:48-54. Ukrainian

6. Lyisenko EN. Key directions of the implementation of the functional capabilities of athletes in the process of sports training. *Science in Olympic Sport*. 2015;2:45-53. Russian

7. Mihaylov VM. Heart rate variability. Experience of practical application of the method. Ivanovo; 2000. 200 c. Russian

8. Mishchenko V., Lysenko OM, Vynohradov VE. Types of physiological reactivity of the respiratory system and the specifics of the manifestation of special performance of athletes. *Physiological Journal*. 2006;52(4):69-77. Ukrainian

9. Mischenko VS, Lyisenko EN, Vinogradov VE. Reactive properties of the cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to strenuous physical training in sport. Kyiv: Naukovyi svit; 2007. 351 c. Russian

10. Pokrovskiy VM. Formation of heart rhythm in humans and animals. Krasnodar: Kuban Kniga; 2007. 144 c. Russian

11. Polischuk LV. Dependence of the parameters of cardiorespiratory synchronism on the duration of the latent period of a simple sensorimotor reaction. *Kubanskiy nauchnyiy meditsinskiy vestnik*. 2010;8:159-162. Russian



12. Потягайло ЕГ, Покровский ВМ. Особенности феномена синхронизации дыхательного и сердечного ритмов у детей с различными типами нервной системы. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2003;53(1):41–45.
13. Шинкарук ОА, Лисенко ОМ, Гуніна ЛМ, Карленко ВП, Земцова І, Олішевський СВ. та ін. Медико-біологічне забезпечення підготовки спортсменів збірних команд України з олімпійських видів спорту. К. : Олімпійська література, 2009. 144 с.
14. Шинкарук О, Лисенко О, Федорчук С. Стрес та його вплив на змагальну та тренувальну діяльність спортсменів. *Фізична культура, спорт та здоров'я нації: збірник наукових праць*. 2017; 3(22):469–476.
15. Buitrago S, Wirtz N, Yue Z. Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(7):2739–2748.
16. Fedorchuk S, Tukaiev S, Lysenko O, Shynkaruk O. The psychophysiological state of highly qualified athletes performing in diving with different levels of anxiety. *European Psychiatry*, Elsevier. 2018;48:681.
17. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(3):829–838.
18. Lysenko O, Gasanova S. Particularities of the structure of the functional training degree of athletes-leaders in female boxing. *Sport Science and Human Health*. 2019;1(1):24–31. DOI: 10.28925/2664-2069.2019.1.4
12. Potyagaylo EG, Pokrovskiy VM. Features of the phenomenon of synchronization of respiratory and heart rhythms in children with different types of nervous system. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatelnosti im. I.P.Pavlova*. 2003;53(1):41-45. Russian
13. Shynkaruk OA, Lysenko OM, Hunina LM, Karlenko VP, Zemtsova II, Olishevskiyi SV, ta in. Medical and biological support for the training of athletes of the national teams of Ukraine in Olympic sports. K.: Olimpiiska lit.; 2009. 144 s. Ukrainian
14. Shynkaruk O, Lysenko O, Fedorchuk S. Stress and his influence on the competitive and training activities of athletes. *Fizychna kultura, sport ta zdorovia natsii: zbirnyk naukovykh prats*. 2017;3(22):469-476. Ukrainian
15. Buitrago S, Wirtz N, Yue Z. Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(7):2739-2748.
16. Fedorchuk S, Tukaiev S, Lysenko O, Shynkaruk O. The psychophysiological state of highly qualified athletes performing in diving with different levels of anxiety. *European Psychiatry*, Elsevier. 2018;48:681.
17. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(3):829-838.
18. Lysenko O, Gasanova S. Particularities of the structure of the functional training degree of athletes-leaders in female boxing. *Sport Science and Human Health*. 2019;1(1):24-31. DOI: 10.28925/26642069.2019.1.4



19. Lysenko O, Fedorchuk S. Reaction of cardiorespiratory system under physical activities of different nature depending on physiological reactivity and fatigue. *Sport Science and Human Health*. 2019;2:40–45. DOI: 10.28925/2664-2069.2019.2.4
20. Steele J, Fisher J, McGuff D. Resistance Training to Momentary Muscular Failure Improves Cardiovascular Fitness in Humans: A Review of Acute Physiological Responses and Chronic Physiological Adaptations. *Journal of Exercise Physiology online*. 2012;5(3):53–80.
21. Thomas C, Bernard O, Enea C. Metabolic and respiratory adaptations during intense exercise following long-sprint training of short duration. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(2):667–675.
19. Lysenko O, Fedorchuk S. Reaction of cardiorespiratory system under physical activities of different nature depending on physiological reactivity and fatigue. *Sport Science and Human Health*. 2019;2:40-45. DOI: 10.28925/2664-2069.2019.2.4
20. Steele J, Fisher J, McGuff D. Resistance Training to Momentary Muscular Failure Improves Cardiovascular Fitness in Humans: A Review of Acute Physiological Responses and Chronic Physiological Adaptations. *Journal of Exercise Physiology online*. 2012;5(3):53-80.
21. Thomas C, Bernard O, Enea C. Metabolic and respiratory adaptations during intense exercise following long-sprint training of short duration. *European Journal of Applied Physiology*. 2012;112(2):667-675.

*Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів.*

### Інформація про авторів:

**Лисенко Олена Миколаївна**  
ORCID: 0000-0002-1239-2596  
Київський університет імені Бориса  
Грінченка,  
м. Київ, Україна  
E-mail: markizalus14@gmail.com

**Колосова Олена Вікторівна**  
ORCID: 0000-0001-9263-805X  
Національний університет фізичного  
виховання та спорту України,  
Науково-дослідний інститут,  
м. Київ, Україна  
E-mail: olena\_kolos@ukr.net

**Федорчук Світлана Володимирівна**  
ORCID: 0000-0002-2207-9253  
Національний університет фізичного  
виховання і спорту України, Науково-  
дослідний інститут,  
м. Київ, Україна  
E-mail: lanasvet778899@gmail.com

**Виноградов Валерій Євгенович**  
ORCID: 0000-0002-6158-3938  
Київський університет імені Бориса  
Грінченка,  
м Київ, Україна  
E-mail: v.vynogradov@kubg.edu.ua

*Стаття надійшла 19 липня 2020 року*